



ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (GUIDELINES) ICNIRP

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ (100 kHz έως 300 GHz)

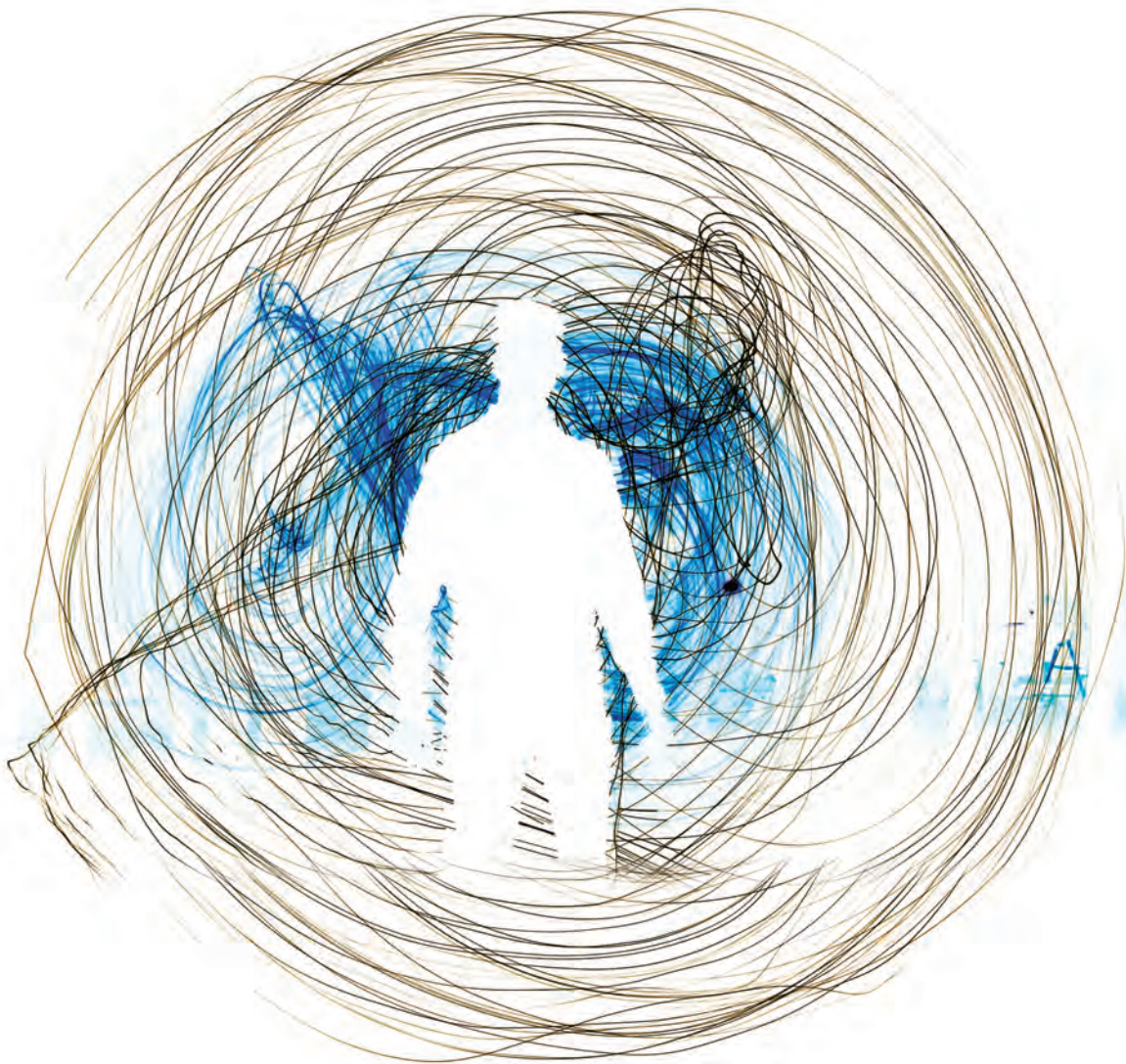
ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ: HEALTH PHYSICS 118(5): 483-524; 2020

—

Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης:

Κ. Κάππας, Χ. Τυράκης, Β. Σόφτα, Κ. Θεοδώρου

Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρικό Τμήμα, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (GUIDELINES) ICNIRP

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ (100 kHz έως 300 GHz)

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ: HEALTH PHYSICS 118(5): 483-524; 2020

Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης:

Κ. Κάππας, Χ. Τυράκης, Β. Σόφτα, Κ. Θεοδώρου

Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρικό Τμήμα, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μάρτιος 2023

ICNIRP GUIDELINES

FOR LIMITING EXPOSURE TO
ELECTROMAGNETIC FIELDS (100 KHZ TO 300 GHZ)

PUBLISHED IN: HEALTH PHYS 118(5): 483–524; 2020

ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΙΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ (GUIDELINES) ICNIRP

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ (100 kHz έως 300 GHz)

ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΗ: HEALTH PHYSICS 118(5): 483-524; 2020

Επιμέλεια ελληνικής έκδοσης:

Κ. Κάππας, Χ. Τυράκης, Β. Σόφτα, Κ. Θεοδώρου
Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρικό Τμήμα, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μάρτιος 2023

© **Copyright:** Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, INTERNATIONAL COMMISSION ON
NON-IONIZING RADIATION PROTECTION 2023

ISBN 978-960-9439-86-2



**Πανεπιστημιακές
Εκδόσεις Θεσσαλίας**

Παγασών 99 - Κωνσταντά
383 333 Βόλος
Τηλ.: 24210 41842, 74763
<http://press.uth.gr>
e-mail: press@uth.gr

Απαγορεύεται η ολική ή μερική ανατύπωση, αναδημοσίευση ή αναπαραγωγή των κειμένων ή της εικονογράφησης της παρούσας έκδοσης χωρίς την έγγραφη άδεια του εκδότη και των συνεργατών του τόμου.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ (100 kHz έως 300 GHz)

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)^{1,2}

Περίληψη

Τα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία Ραδιοσυχνοτήτων (RF-EMF) χρησιμοποιούνται για να ενεργοποιούν έναν αριθμό σύγχρονων συσκευών, συμπεριλαμβανομένων των υποδομών και των συσκευών των κινητών τηλεπικοινωνιών, Wi-Fi και Bluetooth.

Καθώς τα RF-EMF σε επαρκώς υψηλά επίπεδα ισχύος, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την υγεία, η ICNIRP δημοσίευσε Κατευθυντήριες Οδηγίες το 1998 για την ανθρώπινη έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα RF-EMF.

Μετά την χρονολογία αυτή (1998), παρατηρήθηκε μία σημαντική παραγωγή επιστημονικής γνώσης αφορούσα στην σχέση μεταξύ RF-EMF και αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία, όπως επίσης και αξιολογούμενες εξελίξεις, της σχετικής με τα RF-EMF, τεχνολογίας.

Σε συμφωνία με τα ανωτέρω, η ICNIRP επικαιροποίησε την ενότητα RF-EMF των Κατευθυντηρίων Οδηγιών του 1998. Το παρόν κείμενο παρουσιάζει αυτές τις επικαιροποιημένες Κατευθυντήριες Οδηγίες, οι οποίες παρέχουν προστασία στον πληθυσμό από την έκθεση σε RF-EMF, στην φασματική περιοχή 100 kHz έως 300 GHz.

¹ ICNIRP, c/o BfS, Ingolstaedter Landstr. 1, 85764, Oberschleissheim, Germany;

Οι συνεργάτες της International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) παρατίθενται στην ενότητα των Ευχαριστηρίων.

Η ICNIRP δηλώνει ότι δεν υπάρχει σύγκρουση συμφερόντων.

Για επικοινωνία απευθυνθείτε: Gunde Ziegelberger, c/o Bfs, Ingolstaedter Landstr. 1, 85764 Oberschleissheim, Germany, ή email at info@icnirp.org.

(Κείμενο δεκτό 3 Σεπτεμβρίου 2019)

0017-9078/20/0

Copyright © 2020. Οι συγγραφείς. Δημοσιεύθηκε από τους Wolters Kluwer Health, Inc. για την Health Physics Society. Το προκείμενο είναι άρθρο ανοικτής πρόσβασης, διανεμόμενο υπό τους όρους της "Creative Commons Attribution-Non Commercial-No Derivatives License 4.0 (CCBY-NC-ND)", όπου είναι επιτρεπτή η λήψη και η διανομή του κειμένου, με την προϋπόθεση ότι αναφέρεται βιβλιογραφικά με κατάλληλο τρόπο. Η εργασία αυτή δεν μπορεί να διαφοροποιηθεί καθ' οιονδήποτε τρόπο χωρίς την άδεια του περιοδικού.

DOI: 10.1097/HP.0000000000001210

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΣΚΟΠΟΣ & ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

ΑΡΧΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Εύρος Συχνοτήτων 100 kHz έως 10 MHz: Σχέση Μεταξύ των Παρουσών και Άλλων Κατευθυντηρίων Οδηγιών της ICNIRP

Φυσικά Μεγέθη, Μονάδες και Μηχανισμοί Αλληλεπίδρασης

Έρευνα σχετικά με τα RF-EMF και την Υγεία

Κατώφλια για Επαγόμενες Επιπτώσεις στην Υγεία από RF-EMF

Νευρική Διέγερση

Αλλαγές στην Διαπερατότητα των Κυτταρικών Μembrανών

Αύξηση Θερμοκρασίας

Αύξηση Θερμοκρασίας σε Σταθερή Κατάσταση

Κεντρική Θερμοκρασία Σώματος

Τοπική Θερμοκρασία

Ταχεία Αύξηση της Θερμοκρασίας

ΟΔΗΓΙΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΙΚΗΣ EMF ΕΚΘΕΣΗΣ

Βασικοί Περιορισμοί (Basic Restrictions)

Ολόσωμο Μέσο SAR (100 kHz έως 300 GHz)

Τοπικό SAR (100 kHz - 6 GHz)

Κεφαλή και Κορμός

Άκρα

Τοπικό SA (400 MHz έως 6 GHz)

Τοπική Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (Power Density) - S_{ab} (> 6 GHz έως 300 GHz)

Τοπική Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας (Energy Density) - U_{ab} (> 6 GHz έως 300 GHz)

Πίνακες Βασικών Περιορισμών (Basic Restrictions Tables)

Επίπεδα Αναφοράς (Reference Levels)

Ταυτόχρονη Έκθεση Πεδίων Πολλαπλών Συχνοτήτων

Βασικοί Περιορισμοί για Χρονικά Διαστήματα ≥ 6 min

Επίπεδα Αναφοράς για Χρονικά Διαστήματα ≥ 6 min

Βασικοί Περιορισμοί για Χρονικά Διαστήματα < 6 min

Επίπεδα Αναφοράς για Χρονικά Διαστήματα < 6 min

Κατευθυντήριες Οδηγίες για Ρεύματα Επαφής (Contact Currents)

Εκτίμηση Μείωσης Κινδύνου για Επαγγελματική Έκθεση

Ευχαριστήρια - Συνεργάτες:

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ

Εισαγωγή

ΦΥΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΕΣ

Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης Ενέργειας (Specific Energy Absorption Rate - SAR) και
Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας (Specific Energy Absorption - SA)

Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (Absorbed Power Density - S_{ab}) και
Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας (Absorbed Energy Density - U_{ab})

Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (Incident Power Density - S_{inc}) και Προσπίπτουσα
Πυκνότητα Ενέργειας (Incident Energy Density - U_{inc})

ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΒΙΟΦΥΣΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ

Εξειδικεύσεις Ολόσωμης Μέσης Έκθεσης

Σχετικό Φυσικό Μέγεθος

Εκτιμήσεις Χωρικών Μεσοσταθμικών Τιμών (Temporal Averaging Considerations)

Αναγκαίο Ολόσωμο Μέσο SAR, για την Αύξηση της Κεντρικής Θερμοκρασίας Σώματος κατά 1 °C

Εκτιμήσεις Έκθεσης Εμβρύου

Εξειδικεύσεις Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (100 kHz έως 6 GHz)

Σχετικό Φυσικό Μέγεθος

Εκτιμήσεις Χωρικών Μεσοσταθμικών Τιμών (Spatial Averaging Considerations)

Εκτιμήσεις Χρονικών Μεσοσταθμικών Τιμών (Temporal Averaging Considerations)

Απαιτούμενο Τοπικό SAR για Αύξηση της Τοπικής Θερμοκρασίας Ιστών Τύπου 1 και 2 κατά 5 και 2°C, αντίστοιχα

Εκτιμήσεις Έκθεσης Εμβρύου

Εξειδικεύσεις Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (από > 6 GHz έως 300 GHz)

Σχετικό Φυσικό Μέγεθος

Εκτιμήσεις Χωρικών Μεσοσταθμικών Τιμών (Spatial Averaging Considerations)

Εκτιμήσεις Χρονικών Μεσοσταθμικών Τιμών (Temporal Averaging Considerations)

Απαιτούμενη Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος για Αύξηση της Τοπικής Θερμοκρασίας Ιστών Τύπου 1 κατά 5°C

Εκτιμήσεις Έκθεσης Εμβρύου

Εξειδικεύσεις Βραχείας Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (100 kHz έως 6 GHz)

Εξειδικεύσεις Βραχείας Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (> 6 GHz έως 300 GHz)

ΕΞΑΓΩΓΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Γενικές Εκτιμήσεις για τα Επίπεδα Αναφοράς

Επίπεδα Αναφοράς Ηλεκτρικού Πεδίου (E-Field) και Μαγνητικού Πεδίου (H-Field) έως 30 MHz

Ηλεκτρικό Πεδίο, Μαγνητικό Πεδίο και Επίπεδα Αναφοράς Πυκνότητας Ισχύος για Συχνότητες από > 30 MHz έως 6 GHz

Επίπεδα Αναφοράς Ολόσωμης Έκθεσης με Εύρος Συχνοτήτων > 6 GHz έως 300 GHz

Επίπεδα Αναφοράς Τοπικής Έκθεσης με Εύρος Συχνοτήτων > 6 GHz έως 300 GHz

Επίπεδα Αναφοράς για Ρεύματα των Άκρων

Επίπεδα Αναφοράς για Βραχεία Έκθεση (<6 min)

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΒΛΑΒΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Εισαγωγή

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

Ηλεκτρική Δραστηριότητα Εγκεφάλου και Γνωσιακή λειτουργικότητα

Συμπτώματα και Ευεξία

Άλλες Φυσιολογικές Λειτουργίες του Εγκεφάλου και Συναφείς Μηχανισμοί

ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ, ΑΙΘΟΥΣΑΙΑ ΚΑΙ ΟΦΘΑΛΜΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

ΝΕΥΡΟΕΝΔΟΚΡΙΝΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΝΕΥΡΟΕΚΦΥΛΙΣΤΙΚΕΣ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ

ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ, ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΥΡΘΜΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

ΑΝΟΣΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ, ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΗΝ ΠΑΙΔΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ

ΚΑΡΚΙΝΟΣ

ΣΥΝΟΨΗ

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι περιγραφόμενες στο παρόν Κατευθυντήριες Οδηγίες αφορούν στην προστασία των ατόμων τα οποία εκτίθενται σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων (RF-EMF) στην φασματική περιοχή 100 kHz - 300 GHz (εις το εξής “ραδιοσυχνότητες”).

Η παρούσα δημοσίευση αντικαθιστά:

- ✓ Την περιοχή 100 kHz έως 300 GHz των Κατευθυντηρίων Οδηγιών για ραδιοκυματικές συχνότητες της ICNIRP (1998),
- ✓ Την περιοχή 100 kHz έως 10 MHz των Κατευθυντηρίων Οδηγιών για χαμηλές συχνότητες της ICNIRP (2010).

Παρόλο που αυτές οι Κατευθυντήριες Οδηγίες βασίζονται στην πληρέστερη δυνατή διαθέσιμη γνώση, αναγνωρίζεται ότι πιθανώς να υπάρχουν όρια σε αυτήν, τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν τους Περιορισμούς (Restrictions) στην Έκθεση.

Κατά συνέπεια, οι Κατευθυντήριες Οδηγίες θα αναθεωρούνται και θα επικαιροποιούνται περιοδικά, καθώς εξελίσσονται οι σχετικές επιστημονικές γνώσεις. Το παρόν κείμενο περιγράφει τις Κατευθυντήριες Οδηγίες και την λογική τους, με:

- το Παράρτημα Α να παρέχει επιπλέον στοιχεία σε ότι αφορά στην σχετική δοσομετρία και
- το Παράρτημα Β να παρέχει επιπλέον στοιχεία σχετικά με τις βιολογικές επιπτώσεις και τις επιπτώσεις στην υγεία, όπως αναφέρονται στην διεθνή βιβλιογραφία.

ΣΚΟΠΟΣ & ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

Ο κύριος σκοπός της παρούσας δημοσίευσης είναι να καθορίσει Κατευθυντήριες Οδηγίες (Guidelines) για τον Περιορισμό της Έκθεσης σε RF-EMF ώστε να παρέχεται υψηλό επίπεδο προστασίας σε όλο τον πληθυσμό, έναντι επιβεβαιωμένων δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία, οι οποίες είναι δυνατόν να προκληθούν από την Έκθεση, τόσο σε βραχυπρόθεσμη όσο και μακροπρόθεσμη, συνεχή και ασυνεχή εκπομπή RF-EMF.

Ωστόσο, ορισμένα σενάρια Έκθεσης θεωρούνται ότι ευρίσκονται εκτός του πεδίου εφαρμογής αυτών των Κατευθυντηρίων Οδηγιών. Ιατρικές πράξεις είναι δυνατόν να χρησιμοποιούν RF-EMF και η ύπαρξη μεταλλικών εμφυτευμάτων δύναται να μεταβάλλει ή να διαταράξει τα RF-EMFs στο σώμα, τα οποία (διαταραγμένα) RF-EMF με την σειρά τους μπορούν να επηρεάσουν το σώμα τόσο άμεσα (μέσω άμεσης αλληλεπίδρασης πεδίου και ιστού), όσο και έμμεσα (μέσω ενός ενδιάμεσου αγώγιμου αντικειμένου).

Για παράδειγμα, η ραδιοκυματική εκτομή (radiofrequency ablation) και η υπερθερμία (hyperthermia) χρησιμοποιούνται αμφότερες ως ιατρικές θεραπείες και σε αυτές τις περιπτώσεις τα RF-EMF μπορούν εμμέσως να προκαλέσουν βλάβες λόγω:

- ο ακούσιας παρεμβολής σε ενεργές εμφυτεύσιμες ιατρικές συσκευές (βλ. ISO 2012) ή
- ο διαταραχής των RF-EMFs από την παρουσία αγώγιμων εμφυτευμάτων.

Καθώς οι ιατρικές πρακτικές βασίζονται στην ιατρική τεχνογνωσία, για να σταθμισθούν οι πιθανές βλάβες έναντι των επιδιωκόμενων ωφελημάτων, η ICNIRP θεωρεί πως:

- ο τέτοιου είδους εκθέσεις σε RF-EMFs (επί ασθενών, φροντιστών και συνοδών, συμπεριλαμβανομένων, κατά περίπτωση και εμβρύων), διαχειριζόμενες από εξειδικευμένους επαγγελματίες υγείας, όπως επίσης και
- ο η χρήση αγώγιμων υλικών για ιατρικές πρακτικές,

είναι πέραν του πεδίου εφαρμογής αυτών των κατευθυντήριων γραμμών (για περισσότερες πληροφορίες, βλ. UNEP / WHO / IRPA 1993).

Ομοίως, οι εθελοντές, οι οποίοι συμμετέχουν σε έρευνες, θεωρείται ότι δεν εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής αυτών των κατευθυντήριων γραμμών, υπό τον όρο ότι μία θεσμική Επιτροπή Δεοντολογίας έχει εγκρίνει αυτήν την συμμετοχή, λαμβάνοντας υπ' όψιν πιθανές βλάβες και οφέλη.

Παρόλα αυτά, επαγγελματικά εκτεθειμένα άτομα τόσο στην κλινική πρακτική όσο και στην έρευνα, θεωρούνται ότι ευρίσκονται εντός του πεδίου αυτών των κατευθυντήριων γραμμών.

Είναι δυνατόν επίσης, αισθητικές πρακτικές να χρησιμοποιούν RF-EMF. Η ICNIRP θεωρεί ότι τα άτομα τα οποία εκτίθενται σε RF-EMF λόγω αισθητικών πρακτικών, χωρίς τον απαραίτητο έλεγχο από εξειδικευμένο επαγγελματία υγείας, υπόκεινται σε αυτές τις Κατευθυντήριες Οδηγίες. Οποιοσδήποτε αποφάσεις σχετικά με πιθανές εξαιρέσεις αποτελούν καθήκον των Εθνικών Ρυθμιστικών Φορέων.

Τα RF-EMF μπορούν επίσης να προκαλέσουν παρεμβολές στον ηλεκτρικό εξοπλισμό γενικότερα, (δηλαδή όχι μόνο στον εμφυτεύσιμο ιατρικό εξοπλισμό), καθώς είναι δυνατόν να επηρεαστεί έμμεσα η υγεία εάν προκληθεί δυσλειτουργία του εξοπλισμού. Αυτό αναφέρεται ως “ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα” και δεν εμπίπτει στο πεδίο εφαρμογής αυτών των Κατευθυντήριων Οδηγιών (για περισσότερες πληροφορίες, βλ. IEC 2014).

ΑΡΧΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

Οι παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες καθορίζουν ποσοτικά επίπεδα RF-EMF για προσωπική Έκθεση. Η τήρηση αυτών των επιπέδων αποσκοπεί στην προστασία των ανθρώπων από όλες τις τεκμηριωμένες επιβλαβείς επιπτώσεις της Έκθεσης σε RF-EMF. Για τον καθορισμό αυτών των επιπέδων, η ICNIRP αναζήτησε κατ' αρχήν δημοσιευμένη επιστημονική βιβλιογραφία σχετικά με τις επιπτώσεις της έκθεσης

βιολογικών συστημάτων σε RF-EMF και αξιολόγησε ποιές από αυτές ήταν επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία³ και επιστημονικά τεκμηριωμένες.

Αυτό το τελευταίο σημείο είναι σημαντικό, καθώς η ICNIRP θεωρεί ότι, σε γενικές γραμμές, οι αναφερόμενες ανεπιθύμητες επιπτώσεις των RF-EMF στην υγεία πρέπει να επαληθεύονται ανεξάρτητα, οι εξηγήσεις να είναι επαρκούς επιστημονικής ποιότητας και να συνάδουν με την τρέχουσα επιστημονική γνώση, προκειμένου να θεωρούνται ως “αποδεικτικά στοιχεία (evidence)” και να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό Περιορισμών της Έκθεσης.

Στα πλαίσια των Κατευθυντηρίων Οδηγιών, η έκφραση “αποδεικτικά στοιχεία (evidence)” θα χρησιμοποιηθεί με αυτήν την έννοια και η έκφραση “τεκμηριωμένο αποτέλεσμα (substantiated effect)” θα χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τις αναφερόμενες επιπτώσεις οι οποίες ικανοποιούν τον ορισμό των αποδεικτικών στοιχείων.

Η θεμελίωση σε τέτοιου είδους αποδεικτικά στοιχεία για τον προσδιορισμό των αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία, είναι απαραίτητη ώστε να διασφαλίζεται ότι οι Περιορισμοί Έκθεσης βασίζονται σε αληθή αποτελέσματα παρά σε ανεπιβεβαίωτους ισχυρισμούς. Ωστόσο, αυτές οι απαιτήσεις είναι δυνατόν να γίνουν λιγότερο αυστηρές, εάν υπάρχουν επαρκείς πρόσθετες γνώσεις (π.χ. κατανόηση του σχετικού βιολογικού μηχανισμού αλληλεπίδρασης), ώστε να επιβεβαιώνεται ότι αναμένεται εύλογα να προκύψουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

Για κάθε τεκμηριωμένη επίπτωση, η ICNIRP στην συνέχεια εντοπίζει τον “το κατώφλι των αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία”, δηλαδή το χαμηλότερο επίπεδο Έκθεσης, το οποίο είναι γνωστό ότι προκαλεί την συγκεκριμένη επίπτωση στην υγεία. Αυτά τα κατώφλια εξάγονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι ισχυρά συντηρητικοί για συνήθεις (τυπικές) Εκθέσεις και για τον γενικό πληθυσμό.

Στις περιπτώσεις εκείνες κατά τις οποίες, κανένα κατώφλι δεν είναι δυνατόν να καθοριστεί ρητά από την βιβλιογραφία την σχετική με την επίδραση των RF-EMF στην Υγεία, ή όταν αποδεικτικά στοιχεία ανεξάρτητα από την ως άνω βιβλιογραφία δεικνύουν (έμμεσα) ότι η βλάβη είναι δυνατόν να συμβεί σε επίπεδα χαμηλότερα από το ηλεκτρομαγνητικά καθοριζόμενο κατώφλι, η ICNIRP ορίζει ένα “**Λειτουργικό Κατώφλι - Operational Threshold**”.

Τα ως άνω βασίζονται σε πρόσθετη γνώση της σχέσης μεταξύ του κύριου αποτελέσματος της Έκθεσης (π.χ. θέρμανση) και της επίδρασής του στην υγεία (π.χ. πόνος), για τον καθορισμό ενός “**Λειτουργικού Επιπέδου - Operational Level**” με το οποίο θα προκύπτουν Τιμές Περιορισμού (Restriction Values), προκειμένου να επιτευχθεί ένα κατάλληλο επίπεδο προστασίας.

Σε συμφωνία με προηγούμενες Κατευθυντήριες Οδηγίες της ICNIRP, εφαρμόζονται Συντελεστές Μείωσης (Reduction Factors) στα επίπεδα των κατωφλίων ώστε να καταλήξουμε σε τιμές (όρια) Περιορισμού Έκθεσης (Restriction Values).

Οι Συντελεστές Μείωσης (Reduction Values) λαμβάνουν υπ’ όψιν:

³ Σημειώνεται ότι στο παρόν χρησιμοποιείται ο ορισμός του ΠΟΥ (1948) για την “υγεία”. Ειδικότερα, “υγεία είναι μία κατάσταση πλήρους φυσικής, πνευματικής και κοινωνικής καλής κατάστασης και όχι απλώς η απουσία ασθένειας ή αναπηρίας”.

- ✓ την βιολογική ποικιλομορφία του πληθυσμού (π.χ. ηλικία, φύλο),
- ✓ την διακύμανση των βασικών συνθηκών (π.χ. θερμοκρασία ιστού),
- ✓ την διακύμανση περιβαλλοντικών παραγόντων (π.χ. θερμοκρασία αέρα, υγρασία, ενδυμασία),
- ✓ την δοσιμετρική αβεβαιότητα την σχετιζόμενη με τις προκύπτουσες τιμές Έκθεσης,
- ✓ την αβεβαιότητα της ίδιας της επιστήμης της υγείας,

και τίθενται ως συντηρητικό μέτρο γενικότερα.

Αυτές οι τιμές (όρια) περιορισμού της Έκθεσης αναφέρονται ως “**Βασικοί Περιορισμοί (Basic Restrictions)**”. Σχετίζονται με φυσικά μεγέθη τα οποία συνδέονται στενά με ραδιοκυματικά επαγόμενες αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία. Ορισμένα από αυτά είναι φυσικά μεγέθη στο εσωτερικό του εκτιθέμενου ανθρωπίνου σώματος τα οποία δεν μπορούν εύκολα να μετρηθούν. Ως αποτέλεσμα, εξάγονται φυσικά μεγέθη από τους **Βασικούς Περιορισμούς** τα οποία δύνανται να αξιολογηθούν ευκολότερα και ονομάζονται “**Επίπεδα Αναφοράς (Reference levels)**”, με σκοπό την παροχή ενός περισσότερο πρακτικού μέσου απόδειξης συμμόρφωσης με τις Κατευθυντήριες Οδηγίες.

Τα **Επίπεδα Αναφοράς** έχουν εξαχθεί με σκοπό να παρέχουν έναν ισοδύναμο βαθμό προστασίας με τους **Βασικούς Περιορισμούς**, και συνεπώς θεωρείται ότι μία Έκθεση συμμορφώνεται με τις Κατευθυντήριες Οδηγίες εάν αποδειχθεί ότι είναι είτε χαμηλότερη από τους σχετικούς **Βασικούς Περιορισμούς** είτε χαμηλότερη από τα σχετικά **Επίπεδα Αναφοράς**.

Ας σημειωθεί ότι η σχετική συμφωνία μεταξύ των εκθέσεων οι οποίες προκύπτουν από τους **Βασικούς Περιορισμούς** και από τα **Επίπεδα Αναφοράς**, ενδέχεται να μεταβάλλεται, εξαρτώμενη από μια σειρά παραγόντων.

Βάσει μιας συντηρητικής προσέγγισης, τα **Επίπεδα Αναφοράς** έχουν εξαχθεί έτσι ώστε, υπό συνθήκες χειρότερης Έκθεσης (οι οποίες είναι εξαιρετικά απίθανες να συμβούν στην πράξη) να οδηγήσουν σε παρόμοιες εκθέσεις με αυτές οι οποίες καθορίζονται από τους **Βασικούς Περιορισμούς**. Επομένως, στην συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων, η παρακολούθηση (και μη-υπέρβαση) των **Επιπέδων Αναφοράς** θα έχει ως αποτέλεσμα σημαντικά χαμηλότερες Εκθέσεις από αυτές τις οποίες επιτρέπουν οι **Βασικοί Περιορισμοί**. (για περισσότερες πληροφορίες βλέπε την ενότητα “**Επίπεδα Αναφοράς**”)

Οι Κατευθυντήριες Οδηγίες διαφέρουν μεταξύ των επαγγελματικά εκτιθέμενων και του γενικού πληθυσμού.

Ως “επαγγελματικά εκτιθέμενα άτομα” ορίζονται οι ενήλικες οι οποίοι εκτίθενται υπό ελεγχόμενες συνθήκες, σχετιζόμενες με τα επαγγελματικά τους καθήκοντα. Τα άτομα αυτά έχουν εκπαιδευτεί κατάλληλα, ώστε να γνωρίζουν τους πιθανούς κινδύνους των RF-EMF και να εφαρμόζουν τα απαραίτητα μέτρα μείωσης των πιθανών βλαβών και τα οποία έχουν την αισθητήρια και συμπεριφορική ικανότητα για μια τέτοια συνειδητοποίηση και αντιμετώπιση των βλαβών. Ένας εργαζόμενος ο οποίος εκτίθεται σε ακτινοβολία επαγγελματικά, θα πρέπει να συμμετέχει σε κατάλληλο

πρόγραμμα υγείας και ασφάλειας, το οποίο θα του παρέχει τις κατάλληλες πληροφορίες και προστασία.

Ως “γενικός πληθυσμός” ορίζεται το σύνολο των ατόμων όλων των ηλικιών και διαφορετικών καταστάσεων υγείας, το οποίο περιλαμβάνει περισσότερο ευάλωτες ομάδες ή άτομα, τα οποία ενδέχεται να μην γνωρίζουν ή να ελέγχουν την έκθεσή τους σε RF-EMF.

Αυτές οι διαφορές υποδηλώνουν την ανάγκη να καθορίζονται περισσότερο αυστηροί Περιορισμοί για τον γενικό πληθυσμό, καθώς τα μέλη του δεν θα ήταν κατάλληλα εκπαιδευμένα για να είναι σε θέση να μειώνουν την βλάβη, ή μπορεί να μην έχουν την ικανότητα να το πράξουν.

Τα άτομα τα οποία εκτίθενται επαγγελματικά, δεν θεωρείται ότι διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο από τον γενικό πληθυσμό, υπό την προϋπόθεση ότι διενεργείται κατάλληλος έλεγχος και παρέχεται κατάλληλη εκπαίδευση για την αντιμετώπιση όλων των γνωστών κινδύνων.

Ας σημειωθεί ότι το έμβρυο ορίζεται στις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες, ως μέλος του γενικού πληθυσμού, ανεξάρτητα από το σενάριο Έκθεσης και υπόκειται στους περιορισμούς του γενικού πληθυσμού

Όπως φαίνεται από τα ως άνω, υπάρχει ένας αριθμός βημάτων ο οποίος υπεισέρχεται για να εξαχθούν οι Κατευθυντήριες Οδηγίες της ICNIRP. Η ICNIRP υιοθετεί μία συντηρητική προσέγγιση για καθένα από αυτά τα βήματα, προκειμένου να διασφαλίσει ότι τα όρια τα οποία προτείνει θα παραμένουν προστατευτικά, έστω και εάν σημειωθεί σημαντική υπέρβασή τους.

Για παράδειγμα, η επιλογή και η αξιολόγηση των βλαπτικών επιπτώσεων στην υγεία, τα υποθετικά σενάρια Έκθεσης, η εφαρμογή συντελεστών μείωσης και η εξαγωγή **Επιπέδων Αναφοράς**, όλα προκύπτουν με συντηρητικό τρόπο.

Κατά συνέπεια, ο βαθμός προστασίας των Επιπέδων Έκθεσης είναι υψηλότερος από ό,τι είναι δυνατόν να καθοριστεί λαμβάνοντας υπ’ όψιν αποκλειστικά τους συντελεστές μείωσης (reduction factors), οι οποίοι αντιπροσωπεύουν μόνο ένα συντηρητικό στοιχείο των Κατευθυντηρίων Οδηγιών. Δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι πρόσθετα προληπτικά μέτρα θα οδηγήσουν σε όφελος για την υγεία του πληθυσμού.

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΒΑΣΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΙΚΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Εύρος Συχνοτήτων 100 kHz έως 10 MHz: Σχέση Μεταξύ των Παρουσών και Άλλων Κατευθυντηρίων Οδηγιών της ICNIRP

Αν και οι παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες αντικαθιστούν τις Κατευθυντήριες Οδηγίες της ICNIRP (2010) για το εύρος συχνοτήτων 100 kHz έως 10 MHz, η επιστημονική γνώση η οποία σχετίζεται με τις άμεσες επιπτώσεις των RF-EMF στην διέγερση των νευρών και των σχετικών περιορισμών τους στις Κατευθυντήριες Οδηγίες της ICNIRP (2010), δεν επανεξετάζεται εδώ.

Αντίθετα, η παρούσα διαδικασία αξιολόγησης και έθεσε περιορισμούς:

- ✓ για δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία, άλλες εκτός από τις άμεσες επιπτώσεις οι οποίες προκαλούνται από την διέγερση των νεύρων, για συχνότητες από 100 kHz έως 10 MHz και
- ✓ για όλες τις ανεπιθύμητες ενέργειες στην υγεία από 10 MHz έως 300 GHz,

Οι περιορισμοί οι οποίοι σχετίζονται με τις άμεσες επιπτώσεις της διέγερσης των νεύρων (Κατευθυντήριες Οδηγίες του 2010) προστίθενται στην συνέχεια σε αυτές οι οποίες εξάγονται στις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες, για την διαμόρφωση του τελικού συνόλου των περιορισμών. Επομένως, στο παρόν κείμενο δεν παρατίθενται εκτιμήσεις σε θέματα υγείας και δοσιμετρίας σε σχέση με τις άμεσες επιδράσεις της ακτινοβολίας στην διέγερση των νεύρων [βλ. ICNIRP (2010) για περισσότερες πληροφορίες].

Φυσικά Μεγέθη, Μονάδες και Μηχανισμοί Αλληλεπίδρασης

Στις επόμενες παραγράφους, παρουσιάζεται μια συνοπτική επισκόπηση των ηλεκτρομαγνητικών (H/M) φυσικών μεγεθών και μονάδων οι οποίες χρησιμοποιούνται στο παρόν κείμενο, καθώς και των μηχανισμών της αλληλεπίδρασης αυτών με το σώμα. Μια περισσότερο λεπτομερής περιγραφή της δοσιμετρίας της σχετιζόμενης με τις Κατευθυντήριες Οδηγίες, παρέχεται στο Παράρτημα Α, Κεφάλαιο “Φυσικά Μεγέθη και Μονάδες”.

Τα RF-EMF συνίστανται από ταλαντώμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Ο αριθμός ταλαντώσεων ανά sec αναφέρεται ως “συχνότητα” και περιγράφεται σε μονάδες Hertz (Hz). Καθώς το πεδίο διαδίδεται απομακρυνόμενο από μια πηγή, μεταφέρει Ισχύ από την πηγή του, η οποία περιγράφεται σε μονάδες Watt (W), με ισοδύναμο το Joule (J, μέτρο ενέργειας) ανά μονάδα χρόνου (t). Όταν το EMF πεδίο προσπίπτει σε ένα υλικό, αλληλοεπιδρά με τα άτομα και τα μόρια αυτού του υλικού. Όταν ένα βιολογικό σώμα εκτίθεται σε RF-EMF, τμήμα της Ισχύος ανακλάται απομακρυνόμενο από το σώμα και τμήμα απορροφάται από αυτό.

Αυτό το φαινόμενο προκαλεί πολύπλοκα μοτίβα ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στο εσωτερικό του σώματος, τα οποία εξαρτώνται ισχυρά από:

- ✓ τα χαρακτηριστικά των RF-EMF, καθώς επίσης από
- ✓ τις φυσικές ιδιότητες και τις διαστάσεις του σώματος.

Η κύρια συνιστώσα του RF-EMF η οποία επηρεάζει το σώμα είναι το Ηλεκτρικό Πεδίο. Τα Ηλεκτρικά Πεδία μέσα το σώμα αναφέρονται ως “Επαγόμενα Ηλεκτρικά Πεδία” (E_{ind} , μετρούμενα σε $V \cdot m^{-1}$), τα οποία έχουν την δυνατότητα να επηρεάσουν το σώμα με διάφορους τρόπους οι οποίοι δυνητικά σχετίζονται με την υγεία.

Πρώτον, το Επαγόμενο Ηλεκτρικό Πεδίο στο σώμα ασκεί δύναμη στα πολωμένα μόρια (κυρίως μόρια νερού) καθώς και στα ελεύθερα κινούμενα φορτισμένα σωματίδια όπως ηλεκτρόνια και ιόντα. Και στις δύο περιπτώσεις ένα τμήμα της ενέργειας RF-EMF μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια, αναγκάζοντας τα πολικά μόρια να περιστρέφονται και τα φορτισμένα σωματίδια να κινούνται ως ηλεκτρικό ρεύμα.

Καθώς τα πολωμένα μόρια περιστρέφονται και τα φορτισμένα σωματίδια κινούνται, αλληλοεπιδρούν με άλλα πολωμένα μόρια και φορτισμένα σωματίδια, προκαλώντας

την μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε θερμότητα. Αυτή η θερμότητα δύναται να επηρεάσει αρνητικά την υγεία με διάφορους τρόπους.

Δεύτερον, εάν το Επαγόμενο Ηλεκτρικό Πεδίο

- ✓ είναι < 10 MHz (περίπου) και ισχυρό αρκετά, είναι δυνατόν να ασκήσει ηλεκτρικές δυνάμεις οι οποίες είναι ικανές να διεγείρουν νεύρα και
- ✓ είναι ισχυρό και αρκετά βραχύ (όπως είναι η περίπτωση των παλμικών RF-EMF χαμηλής συχνότητας), είναι δυνατόν να ασκήσει ηλεκτρικές δυνάμεις οι οποίες επαρκούν για να προκληθεί διηλεκτρική διάσπαση των βιολογικών μεμβρανών, όπως συμβαίνει κατά την ηλεκτροδιάτρηση (electroporation) με την βοήθεια συνεχούς (DC) ηλεκτρικού ρεύματος (Mir 2008).

Από πλευράς κινδύνου για την υγεία, ενδιαφερόμαστε γενικώς για το πόση ποσότητα Ισχύος RF-EMF απορροφάται από τους βιολογικούς ιστούς, καθώς αυτή η Ισχύς είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνη για τα θερμικά αποτελέσματα, τα οποία περιγράφονται ανωτέρω. Αυτή η Ισχύς περιγράφεται συνήθως ως συνάρτηση ενός σχετικού δοσιμετρικού φυσικού μεγέθους.

Για παράδειγμα,

- Σε συχνότητες < 6 GHz (περίπου), όπου τα RF-EMF διεισδύουν βαθιά στον ιστό (και συνεπώς απαιτείται να ληφθεί υπ' όψιν το βάθος), είναι χρήσιμη η περιγραφή την Απορροφώμενης Ισχύος από τους βιολογικούς ιστούς με όρους "Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης Ενέργειας – Specific Energy Absorption Rate - SAR", ο οποίος ορίζεται ως η "Απορροφώμενη Ισχύς ανά Μονάδα Μάζας – Power Absorbed per Unit Mass ($W \cdot kg^{-1}$)".
- Αντίθετα, άνω των 6 GHz, όπου τα RF-EMF απορροφώνται περισσότερο επιφανειακά (καθιστώντας το βάθος λιγότερο σημαντικό παράγοντα), είναι χρήσιμο να περιγράφεται η Έκθεση με όρους "Πυκνότητα της Απορροφώμενης Ισχύος ανά Επιφάνεια - Density of Absorbed Power over Area" ($W \cdot m^{-2}$), και ο οποίος όρος θα αναφέρεται ως "Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος – Absorbed Power Density - S_{ab} ".

Στις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες, το SAR ορίζεται επί διαφόρων μαζών για καλύτερη αντιστοιχία συγκεκριμένων αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία:

- το " SAR_{10g} " αντιπροσωπεύει την Απορροφώμενη Ισχύ (ανά kg) η οποία απορροφάται από 10 g κυβικής μάζας και
- το "Ολόσωμο Μέσο SAR - whole-body average SAR" αντιπροσωπεύει την Απορροφώμενη Ισχύ (ανά kg) σε ολόκληρο το σώμα.

Ομοίως, η "Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος - Absorbed Power Density - S_{ab} " καθορίζεται ανά διάφορες επιφάνειες, ως συνάρτηση της συχνότητας RF-EMF.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο ρυθμός εναπόθεσης ενέργειας (Ισχύς) είναι λιγότερο σχετικός από την συνολική εναπόθεση ενέργειας. Αυτό είναι δυνατόν να ισχύει για σύντομες εκθέσεις όπου δεν υπάρχει επαρκής χρόνος για να επέλθει διάχυση θερμότητας. Σε αυτές τις περιπτώσεις:

- η "Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας – Specific Energy Absorption" (SA, σε $J \cdot kg^{-1}$) χρησιμοποιείται, για RF-EMF < 6 GHz (π.χ. για βραχείες Εκθέσεις) και

- η “Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας – Absorbed Energy Density” (U_{ab} , σε $J.m^{-2}$) χρησιμοποιείται, για RF-EMF > 6 GHz (π.χ. για βραχείες Εκθέσεις).

Οι SAR, S_{ab} , SA, U_{ab} και E_{ind} είναι τα φυσικά μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται σε αυτές τις Κατευθυντήριες Οδηγίες, για τον καθορισμό των Βασικών Περιορισμών.

Καθώς τα φυσικά μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των “Βασικών Περιορισμών” πιθανόν να είναι δύσκολο να μετρηθούν, φυσικά μεγέθη τα οποία είναι δυνατόν να εκτιμηθούν ευκολότερα, καθορίζονται επίσης ως “Επίπεδα Αναφοράς – Reference levels”.

Τα φυσικά μεγέθη των Επιπέδων Αναφοράς τα σχετικά με αυτές τις Κατευθυντήριες Οδηγίες είναι:

- ✓ Προσπίπτουσα Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου (Incident Electric Field Strength - E_{inc}),
- ✓ Προσπίπτουσα Ένταση Μαγνητικού Πεδίου (Incident Magnetic Field Strength - H_{inc}),
- ✓ Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (Incident Power Density - S_{inc}),
- ✓ Προσπίπτουσα Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος Επιπέδου Κύματος (Plane-Wave Equivalent Incident Power Density - S_{eq}),
- ✓ Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ενέργειας (Incident Energy Density - U_{inc}) και
- ✓ Προσπίπτουσα Ισοδύναμη Πυκνότητα Ενέργειας Επιπέδου Κύματος (Plane-Wave Equivalent Incident Energy Density - U_{eq})

όλα μετρούμενα εξωτερικά του σώματος και το ηλεκτρικό ρεύμα I μέσα στο σώμα, με το I να περιγράφεται σε μονάδες Ampere (A).

Οι μονάδες των Βασικών Περιορισμών και των Επιπέδων Αναφοράς παρατίθενται στον Πίνακα 1 και οι ορισμοί όλων των σχετικών όρων παρατίθενται στο Παράρτημα Α, στην ενότητα “Φυσικά Μεγέθη και Μονάδες”

Πίνακας 1: Φυσικά μεγέθη και αντιστοιχούσες μονάδες μέτρησης σύμφωνα με το SI, οι οποίες χρησιμοποιούνται στις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες

Φυσικό Μέγεθος	Σύμβολο ^α	Μονάδα Μέτρησης
Πυκνότητα Ενέργειας		
Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας – Absorbed Energy Density ^γ	U_{ab}	Joule ανά τετραγ. μέτρο ($J.m^{-2}$)
Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ενέργειας – Incident Energy Density ^β	U_{inc}	Joule ανά τετραγ. μέτρο ($J.m^{-2}$)
Προσπίπτουσα Ισοδύναμη Πυκνότητα Ενέργειας Επιπέδου Κύματος – Plane-Wave Equivalent Incident Energy Density ^β	U_{eq}	Joule ανά τετραγ. μέτρο ($J.m^{-2}$)
Πυκνότητα Ισχύος		
Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος – Absorbed Power Density ^γ	S_{ab}	Watt ανά τετραγ. μέτρο ($W.m^{-2}$)

Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος – Incident Power Density ^β	S_{inc}	Watt ανά τετραγ. μέτρο ($W \cdot m^{-2}$)
Προσπίπτουσα Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος Επιπέδου Κύματος – Plane-Wave Equivalent Incident Power Density ^β	S_{eq}	Watt ανά τετραγ. μέτρο ($W \cdot m^{-2}$)
Ισχύς ΗΠ και ΜΠ		
Επαγόμενη Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου – Induced Electric Field Strength ^γ	E_{ind}	Volt ανά μέτρο ($V \cdot m^{-1}$)
Προσπίπτουσα Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου – Incident Electric Field Strength ^β	E_{inc}	Volt ανά μέτρο ($V \cdot m^{-1}$)
Προσπίπτουσα Ένταση Μαγνητικού Πεδίου – Incident Magnetic Field Strength ^β	H_{inc}	Ampere ανά μέτρο ($A \cdot m^{-1}$)
Απορρόφηση Ενέργειας		
Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας – Specific Energy Absorption ^γ	SA	Joule ανά κιλό ($J \cdot kg^{-1}$)
Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης Ενέργειας – Specific Energy Absorption Rate ^γ	SAR	Watt ανά κιλό ($W \cdot kg^{-1}$)
Ηλεκτρικό Ρεύμα - Electric Current ^δ	I	Ampere (A)
Συχνότητα - Frequency	f	Hertz (Hz)
Χρόνος - Time	t	Sec (s)

^α Τα *ιταλικά σύμβολα* αναπαριστούν μεταβλητές. Τα φυσικά μεγέθη περιγράφονται ως βαθμωτά μεγέθη καθώς η διανυσματική διεύθυνση δεν χρησιμοποιείται για να εξαχθούν οι **Βασικοί Περιορισμοί** ή τα **Επίπεδα Αναφοράς**.

^β **Φυσικά Μεγέθη Επιπέδων Αναφοράς (Reference Level Quantities)** μετρούμενα εκτός σώματος.

^γ **Φυσικά Μεγέθη Βασικών Περιορισμών (Basic Restriction Quantities)**

^δ Μετρούμενο εντός σώματος.

Έρευνα σχετικά με τα RF-EMF και την Υγεία

Προκειμένου να καθοριστούν τα επίπεδα ασφαλούς Έκθεσης, η ICNIRP κατ' αρχήν αποφάσισε ότι εφόσον υπήρχαν αποδείξεις ότι τα RF-EMF βλάπτουν την υγεία και για κάθε τεκμηριωμένο βλαπτικό συμβάν, να έχουν προσδιοριστεί (όπου είναι διαθέσιμα) τόσο ο μηχανισμός αλληλεπίδρασης όσο και η ελάχιστη Έκθεση η οποία απαιτείται για την πρόκληση βλάβης.

Αυτές οι πληροφορίες αποκτήθηκαν κυρίως από σημαντικές διεθνείς ανασκοπήσεις (review) της βιβλιογραφίας της σχετικής με την αλληλεπίδραση των RF-EMF με την υγεία.

Περιλαμβάνουν μια σε βάθος επισκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας σχετικά με το θέμα "Έκθεση σε RF-EMF και Υγεία" η οποία δημοσιεύθηκε ως προσχέδιο τεχνικού εγγράφου (Technical Document WHO 2014), καθώς και εκθέσεις οι οποίες δημοσιεύτηκαν από την Scientific Committee on

Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR 2015) και την Swedish Radiation Safety Authority (SSM 2015, 2016, 2018).

Αυτές οι εκθέσεις έχουν επεξεργαστεί ένα ευρύ φάσμα της βιβλιογραφίας, το οποίο καλύπτει, από πειραματική έρευνα έως επιδημιολογία, αξιολογεί επίσης θέματα υγείας των παιδιών καθώς και εκείνων των ατόμων για τα οποία πιθανολογείται ότι είναι ευαίσθητα σε RF-EMF.

Για να ολοκληρωθούν αυτές οι βιβλιογραφικές αναφορές, η ICNIRP αξιολόγησε και την έρευνα η οποία δημοσιεύθηκε μετά από αυτές τις επισκοπήσεις. Μια συνοπτική περίληψη αυτής της βιβλιογραφίας παρέχεται στο Παράρτημα Β, με τα κύρια συμπεράσματα να παρέχονται κατωτέρω.

Όπως περιγράφεται στο Παράρτημα Β, επιπλέον της διέγερσης των νεύρων (η οποία περιγράφεται στην έκθεση ICNIRP 2010), τα RF-EMF είναι δυνατόν να επηρεάσουν το σώμα μέσω δύο κύριων βιολογικών φαινομένων:

- ✓ αλλαγές στην διαπερατότητα των μεμβρανών και
- ✓ αύξηση της θερμοκρασίας.

Γνώση που αφορά στις σχέσεις μεταξύ θερμικών επιδράσεων και υγείας, ανεξάρτητη από την βιβλιογραφία των RF-EMF, είναι επίσης σημαντική και περιγράφεται στην συνέχεια.

Η ICNIRP την θεωρεί κατάλληλη, δεδομένου ότι η συντριπτική πλειονότητα των ερευνών σχετικά με τις αλληλεπιδράσεις των ραδιοσυχνοτήτων με την υγεία έχει διεξαχθεί χρησιμοποιώντας Εκθέσεις σημαντικά χαμηλότερες από αυτές οι οποίες φαίνεται ότι προκαλούν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Ταυτόχρονα, η βιβλιογραφία είναι πτωχή σχετικά με τα κατώφλια εμφάνισης βλαπτικών επιδράσεων στην υγεία, από γνωστούς μηχανισμούς αλληλεπίδρασης.

Κατά συνέπεια, είναι πιθανόν η βιβλιογραφία η σχετική με την αλληλεπίδραση των ραδιοσυχνοτήτων με τους βιολογικούς ιστούς να μην είναι επαρκώς ολοκληρωμένη για να πιστοποιηθούν ακριβή κατώφλια.

Αντίθετα, όπου υπάρχει μια περισσότερο εκτεταμένη βιβλιογραφία η οποία αποσαφηνίζει την σχέση μεταξύ της υγείας και των κύριων βιολογικών επιπτώσεων, αυτή δύναται να είναι χρήσιμη για τον καθορισμό των Κατευθυντηρίων Οδηγιών.

Για παράδειγμα, εάν η βιβλιογραφία της φυσιολογίας της θερμότητας (ή φυσιολογία της θερμоруθμησης) αποδεικνύει ότι η αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο προκαλεί βλάβη στην υγεία, ενώ ταυτόχρονα, Έκθεση σε ραδιοσυχνότητες για την οποία είναι γνωστό ότι προκαλεί παρόμοια αύξηση της θερμοκρασίας, δεν έχει αξιολογηθεί για πρόκληση βλάβης, τότε είναι λογικό να ληφθεί υπ' όψιν και αυτή η (επιπλέον) βιβλιογραφία της φυσιολογίας της θερμότητας.

Η ICNIRP αναφερόμενη σε κατώφλια τα οποία προκύπτουν από τέτοια πρόσθετη βιβλιογραφία τα ονομάζει “**Λειτουργικά Κατώφλια δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία - Operational adverse health effect thresholds**”.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μόνη περίπτωση η ICNIRP να χρησιμοποιήσει **Λειτουργικά (Operational) Κατώφλια** για να θέσει περιορισμούς, είναι όταν αυτά

είναι χαμηλότεροι (περισσότερο συντηρητικά) από αυτά τα οποία αποδεικνύεται ότι επηρεάζουν αρνητικά την υγεία στην βιβλιογραφία ραδιοκυμάτων, ή όταν η βιβλιογραφία ραδιοκυμάτων δεν παρέχει επαρκή στοιχεία για να συναγάγει κατώφλια αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία.

Με σκοπό τον προσδιορισμό των κατωφλίων, εξετάζονται οι αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, οι οποίες προκύπτουν από όλες τις εκθέσεις σε RF-EMF, λαμβάνοντας υπ' όψιν εκείνες οι οποίες αναφέρονται ως "χαμηλού επιπέδου" και "μη θερμικές", και συμπεριλαμβανομένων εκείνων των οποίων οι μηχανισμοί δεν έχουν διασαφηνιστεί.

Ομοίως, καθώς δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι τα συνεχή (π.χ. ημιτονοειδή) και τα ασυνεχή (π.χ. παλμικά) RF-EMF έχουν ως αποτέλεσμα διαφορετικές βιολογικές επιπτώσεις (Kowalczyk et al. 2010, Juutilainen et al. 2011), δεν έχει γίνει θεωρητική διάκριση μεταξύ αυτών των τύπων Έκθεσης (όλες οι Εκθέσεις έχουν αναλυθεί εμπειρικά ως προς το εάν επηρεάζουν αρνητικά την υγεία).

Κατώφλια για Επαγόμενες Επιπτώσεις στην Υγεία από RF-EMF

Νευρική Διέγερση

Η Έκθεση σε RF-EMF δύναται να επάγει Ηλεκτρικά Πεδία εντός του σώματος, τα οποία για συχνότητες έως 10 MHz μπορούν να διεγείρουν τα νεύρα (Saunders and Jeffreys 2007). Το αποτέλεσμα αυτής της διέγερσης ποικίλλει ανάλογα με την συχνότητα και συνήθως αναφέρεται ως αίσθηση "μουδιάσματος" για συχνότητες περίπου 100 kHz.

Καθώς αυξάνεται η συχνότητα, τα θερμικά φαινόμενα κυριαρχούν και η πιθανότητα νευρικής διέγερσης μειώνεται. Στα 10 MHz η επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου περιγράφεται συνήθως ως "θέρμανση". Στοιχεία για την διέγερση των νεύρων από επαγόμενα ηλεκτρικά πεδία περιγράφονται λεπτομερώς στις Κατευθυντήριες Οδηγίες για χαμηλές συχνότητες της ICNIRP (2010).

Αλλαγές στην Διαπερατότητα των Κυτταρικών Μεμβρανών

Όταν τα (χαμηλής συχνότητας) EMF είναι παλμικής μορφής, η ισχύς κατανέμεται σε ένα εύρος συχνοτήτων, το οποίο μπορεί να περιλαμβάνει και RF-EMF (Joshi and Schoenbach 2010). Εάν ο παλμός είναι αρκετά έντονος και βραχύς, η Έκθεση στα προκύπτοντα RF-EMFs, είναι δυνατόν να προκαλέσει διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών, γεγονός το οποίο με την σειρά του είναι δυνατόν να οδηγήσει σε άλλες κυτταρικές αλλαγές.

Ωστόσο, δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι η ραδιοκυματική φασματική συνιστώσα από έναν παλμό EMF (χωρίς την συνιστώσα χαμηλής συχνότητας) είναι ικανή να προκαλέσει αλλαγές στην διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών.

Οι περιορισμοί σχετικά με την διέγερση των νεύρων στις Κατευθυντήριες Οδηγίες της ICNIRP (2010) (και χρησιμοποιούνται εδώ) είναι επαρκείς για να διασφαλιστεί ότι δεν θα συμβούν αλλαγές στην διαπερατότητα, επομένως δεν απαιτείται πρόσθετη προστασία από την προκύπτουσα RF-EMF.

Έχει επίσης δειχθεί ότι αλλαγές στην διαπερατότητα της μεμβράνης πραγματοποιούνται με συνεχή έκθεση ραδιοκυματικής ακτινοβολίας στην συχνότητα των 18 GHz (π.χ. Nguyen et al. 2015). Αυτό έχει αναδειχθεί μόνο in vitro και η επίτευξη του απαιτεί εξαιρετικά υψηλά επίπεδα Έκθεσης (περίπου $5 \text{ kW} \cdot \text{kg}^{-1}$, για πολλά min) τα οποία υπερβαίνουν κατά πολύ τις απαιτούμενες ελάχιστες προϋποθέσεις ώστε να προκληθεί θερμική βλάβη (βλ. Ενότητα “Αύξηση Θερμοκρασίας”).

Επομένως, δεν υπάρχει λόγος καθορισμού συγκεκριμένων περιορισμών για προστασία έναντι αυτού του φαινομένου, καθώς οι περιορισμοί οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί για την προστασία από μικρότερες αυξήσεις θερμοκρασίας, όπως περιγράφονται στην ενότητα “Αύξηση Θερμοκρασίας” θα παρέχουν επίσης προστασία έναντι αυτού.

Αύξηση θερμοκρασίας

Τα RF-EMF είναι δυνατόν να παράγουν θερμότητα στο σώμα και είναι σημαντικό αυτή η θερμότητα να διατηρείται σε ασφαλές επίπεδο. Ωστόσο, όπως φαίνεται από το Παράρτημα Β, δεν υπάρχει επαρκής έρευνα για Έκθεση σε ραδιοσυχνότητες, οι οποίες χρησιμοποιούν ικανή ισχύ ώστε να προκαλούν θερμο-επαγόμενες επιπτώσεις στην υγεία.

Ιδιαίτερη προσοχή δίδεται στο γεγονός ότι, μολονότι Εκθέσεις (και προκύπτουσες αυξήσεις θερμοκρασίας) έχουν περιστασιακά δείξει ότι προκάλεσαν σοβαρή βλάβη, ωστόσο η διεθνής βιβλιογραφία δεν διαθέτει στοιχεία για το ποιές είναι οι ελάχιστες απαιτούμενες εκθέσεις ώστε να προκληθεί βλάβη.

Για πολύ χαμηλά επίπεδα Έκθεσης (όπως στους [Βασικούς Περιορισμούς](#) της ICNIRP (1998), υπάρχουν εκτενείς αποδείξεις ότι η ποσότητα θερμότητας η οποία παράγεται δεν είναι επαρκής για να προκαλέσει βλάβη, αλλά για επίπεδα Έκθεσης άνω των Επιπέδων [Βασικών Περιορισμών](#) της ICNIRP (1998), υπάρχει περιορισμένη έρευνα.

Όπου υπάρχουν ρεαλιστικές πιθανότητες εμφάνισης βλάβης της υγείας σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από εκείνες οι οποίες προκαλούν βλάβη στην υγεία λόγω Έκθεσης σε RF-EMF, η ICNIRP χρησιμοποιεί αυτές τις χαμηλότερες θερμοκρασίες ως βάση για τους περιορισμούς τους οποίους προτείνει (βλ. “Έρευνα σε RF-EMF και Υγεία”).

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, αυτές οι Κατευθυντήριες Οδηγίες μειώνουν την Έκθεση σε RF-EMF περιορίζοντας την αύξηση της θερμοκρασίας και όχι την απόλυτη θερμοκρασία, μολονότι οι επιπτώσεις στην υγείας σχετίζονται κυρίως με την απόλυτη θερμοκρασία. Αυτή η στρατηγική χρησιμοποιείται επειδή δεν είναι εφικτό να περιοριστεί η απόλυτη θερμοκρασία, η οποία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι δεν εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής αυτών των Κατευθυντηρίων Οδηγιών, όπως η περιβαλλοντική θερμοκρασία, η ενδυμασία και ο ρυθμός εκτέλεσης της εργασίας.

Αυτό σημαίνει ότι εάν η Έκθεση προκαλέσει μια δεδομένη αύξηση της θερμοκρασίας, αυτό θα μπορούσε είτε να βελτιώσει, είτε να μην επηρεάσει είτε να βλάψει την υγεία, ανάλογα με την αρχική θερμοκρασία του ατόμου. Για παράδειγμα, η ήπια θέρμανση μπορεί να είναι ευχάριστη εάν ένα άτομο κρύνει, αλλά δυσάρεστη εάν είναι ήδη

πολύ θερμό. Οι περιορισμοί ορίζονται επομένως για την αποφυγή σημαντικής αύξησης της θερμοκρασίας, όπου “σημαντική” θεωρείται υπό το φως τόσο της πιθανής βλάβης όσο και της μεταβολής της φυσιολογικής θερμοκρασίας.

Αυτές οι Κατευθυντήριες Οδηγίες διαφοροποιούν:

- της αύξησης της θερμοκρασίας “σε σταθερή κατάσταση / σε ισορροπία” (όπου η θερμοκρασία αυξάνεται αργά, διαθέτοντας χρόνο για την διάχυση της θερμότητας σε μεγαλύτερη μάζα ιστού και για θερμορυθμιστικές διαδικασίες για την αντιμετώπιση της αύξησης της θερμοκρασίας) και
- για βραχείες αυξήσεις της θερμοκρασίας (όπου ενδέχεται να μην υπάρχει αρκετός χρόνος για την θερμότητα να διαχυθεί και οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε μεγαλύτερες αυξήσεις θερμοκρασίας σε μικρές περιοχές, για την ίδια απορροφώμενη ραδιοκυματική ενέργεια).

Αυτή η διαφοροποίηση υποδηλώνει την ανάγκη να λαμβάνονται υπ’ όψιν διακριτά η Έκθεση σταθερής κατάστασης και η Έκθεση βραχείας διάρκειας.

Αύξηση Θερμοκρασίας σε Σταθερή Κατάσταση (Steady-State Temperature Rise)

Κεντρική Θερμοκρασία Σώματος

Η κεντρική θερμοκρασία σώματος αναφέρεται στην θερμοκρασία βαθιά μέσα στο σώμα, όπως στην κοιλία και στον εγκέφαλο, και ποικίλλει σημαντικά ως συνάρτηση παραγόντων όπως το φύλο, η ηλικία, η ώρα της ημέρας, ο ρυθμός εργασίας, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και η θερμορύθμιση.

Για παράδειγμα, αν και η μέση θερμοκρασία της κεντρικής περιοχής του σώματος είναι περίπου 37°C (αναφέρεται ως “εντός του εύρους των φυσιολογικών θερμοκρασιών (normothermia)⁴”), συνήθως κυμαίνεται με περίοδο 24 ωρών για να καλύψει τις φυσιολογικές ανάγκες, με το μέγεθος της διακύμανσης να είναι της τάξης του 1°C (Reilly et al. 2007).

Καθώς αυξάνεται το θερμικό φορτίο, θερμορυθμιστικές λειτουργίες όπως είναι η αγγειοδιαστολή και η εφίδρωση μπορούν να ενεργοποιηθούν με σκοπό τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας της κεντρικής περιοχής του σώματος.

Αυτό είναι σημαντικό διότι πολλές επιπτώσεις στην υγεία είναι δυνατόν να προκληθούν, εάν η θερμοκρασία της κεντρικής περιοχής του σώματος αυξηθεί άνω (περίπου) του 1 °C (ονομάζεται “υπερθερμία”). Για παράδειγμα, ο κίνδυνος ατυχήματος αυξάνεται με την υπερθερμία (Ramsey et al. 1983) και σε κεντρική θερμοκρασία σώματος > 40 °C είναι δυνατόν να οδηγήσει σε θερμοπληξία, η οποία είναι δυνατόν να αποβεί θανατηφόρα (Cheshire 2016).

Για την ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων της υπερθερμίας στην υγεία στο επαγγελματικό περιβάλλον, είναι διαθέσιμες λεπτομερείς Κατευθυντήριες Οδηγίες (ACGIH 2017). Αυτές αποσκοπούν στην τροποποίηση του εργασιακού περιβάλλοντος προκειμένου να διατηρηθεί η θερμοκρασία της κεντρικής περιοχής του σώματος

⁴ Η έννοια “Normothermia” αναφέρεται στην θερμική κατάσταση εντός του σώματος όπου κατά την διάρκεια αυτής, δεν ενεργοποιούνται οι θερμορυθμιστικές διεργασίες για την αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας του κεντρικού τμήματος του σώματος.

εντός της διακύμανσης του + 1°C από την φυσιολογική θερμοκρασία (νορμοθέρμια) και απαιτείται σημαντική γνώση κάθε συγκεκριμένης κατάστασης, λόγω του εύρους των μεταβλητών οι οποίες είναι δυνατόν να την επηρεάσουν.

Όπως περιγράφεται στο Παράρτημα Β, αύξηση της θερμοκρασίας της κεντρικής περιοχής του σώματος λόγω Έκθεσης σε RF-EMFs, η οποία είναι δυνατόν να προκαλέσει βλάβη, παρατηρείται μόνο όταν η θερμοκρασία αυξάνεται περισσότερο από +1°C, χωρίς σαφή ένδειξη συγκεκριμένου κατωφλίου για δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

Λόγω της περιορισμένης διαθέσιμης βιβλιογραφίας, η ICNIRP έχει υιοθετήσει μια συντηρητική τιμή θερμοκρασιακής αύξησης ως το **Λειτουργικό Κατώφλι** δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία (αύξηση 1°C, ACGIH 2017).

Πρέπει να αναφερθεί ότι σημαντικές φυσιολογικές αλλαγές είναι δυνατόν να συμβούν όταν η θερμοκρασία της κεντρικής περιοχής του σώματος αυξάνεται κατά 1°C. Τέτοιες αλλαγές αποτελούν μέρος της φυσιολογικής θερμορυθμιστικής απόκρισης του σώματος (π.χ. Van den Heuvel et al. 2017) και, ως εκ τούτου, δεν αποτελούν από μόνες τους αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

Πρόσφατη θεωρητική μοντελοποίηση / εξομοίωση και γενίκευση της πειραματικής έρευνας σε μία σειρά ζωικών ειδών προβλέπει ότι:

Απαιτούνται Εκθέσεις οι οποίες να οδηγούν σε Ολοσωμο Μέσο SAR περίπου 6 W.kg⁻¹, εντός της περιοχής 100 kHz έως 6 GHz, τουλάχιστον για διάστημα 1 ώρας, υπό θερμό-ουδέτερες⁵ συνθήκες (28 °C, άτομο γυμνό, σε κατάσταση ηρεμίας), ώστε να προκληθεί αύξηση της θερμοκρασίας της κεντρικής περιοχής του σώματος κατά 1°C, σε ενήλικα άτομα. Για τα παιδιά, απαιτείται υψηλότερο SAR ώστε να φτάσουν σε αυτήν την αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της αποτελεσματικότερης απαγωγής θερμότητας του οργανισμού τους (Hirata et al. 2013).

Ωστόσο, λόγω των περιορισμένων διαθέσιμων πειραματικών δεδομένων, η ICNIRP έχει υιοθετήσει μία συντηρητική θέση και χρησιμοποιεί ως μέτρο τα 4 W.kg⁻¹ υπολογιζόμενα ως η μέση τιμή σε διάστημα 30 min ως το Επίπεδο Έκθεσης RF-EMF το οποίο αντιστοιχεί σε αύξηση της θερμοκρασίας της κεντρικής περιοχής του σώματος κατά 1°C.

Χρησιμοποιείται ένας μέσος χρόνος 30 min για να συμπεριληφθεί ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την επίτευξη θερμοκρασίας σταθερής κατάστασης (για περισσότερες λεπτομέρειες, βλ. Παράρτημα Α, ενότητα “Εκτιμήσεις Χωρικών Μεσοσταθμικών Τιμών (Temporal Averaging Considerations)”). Ως σύγκριση, ένας ενήλικος παράγει συνολικά περίπου 1 W.kg⁻¹ (Weyand et al. 2009) σε κατάσταση ηρεμίας, σχεδόν 2 W.kg⁻¹ όρθιος και 12 W.kg⁻¹ σε τρέξιμο (Teunissen et al. 2007).

Όσο η συχνότητα RF-EMF αυξάνεται, η Έκθεση του σώματος και η προκύπτουσα θέρμανση γίνεται περισσότερο επιφανειακή και άνω των 6 GHz, η θερμότητα διαχέεται κυρίως στο δέρμα. Για παράδειγμα, το 86% της προσπίπτουσας Ισχύος στα

⁵ Η έννοια “thermoneutral” αναφέρεται σε περιβαλλοντικές συνθήκες οι οποίες επιτρέπουν στο κεντρικό τμήμα του σώματος να διατηρεί την θερμοκρασία μόνο με μεταβολές της ροής του αίματος του δέρματος.

6 και στα 300 GHz απορροφάται στα πρώτα 8 mm και 0,2 mm από την επιφάνεια, αντίστοιχα (Sasaki et al. 2017).

Σε σύγκριση με την θερμότητα σε εν τω βάθει ιστούς, η θερμότητα σε επιφανειακούς ιστούς απομακρύνεται περισσότερο εύκολα από το σώμα, επειδή είναι περισσότερο εύκολο για την θερμική ενέργεια να διοχετευθεί στο περιβάλλον. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι **Βασικοί Περιορισμοί** για την προστασία από την αύξηση της θερμοκρασίας της κεντρικής περιοχής του σώματος, παραδοσιακά περιορίζονται σε συχνότητες κάτω των 10 GHz (π.χ. ICNIRP 1998).

Ωστόσο, η έρευνα έχει δείξει ότι σε συχνότητες EMF άνω των 300 GHz (π.χ. υπέρυθρη ακτινοβολία) η θερμοκρασία της κεντρικής περιοχής του σώματος είναι δυνατόν να αυξηθεί πέραν του **Λειτουργικού Κατώφλιου** δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία του 1 °C, όπως περιγράφεται ως άνω (Brockow et al. 2007).

Αυτό συμβαίνει επειδή η υπέρυθρη ακτινοβολία, καθώς και οι χαμηλότερες συχνότητες, εντός του πεδίου εφαρμογής των παρόντων Κατευθυντηρίων Οδηγιών, προκαλούν θέρμανση μέσα στο χόριο, και το εκτεταμένο αγγειακό δίκτυο μέσα στο χόριο δύναται να μεταφέρει αυτή την θερμότητα βαθιά μέσα στο σώμα. Επομένως, είναι σκόπιμο να προστατεύεται επίσης η κεντρική περιοχή του σώματος από την αύξηση της θερμοκρασίας για συχνότητες άνω των 6 GHz.

Η ICNIRP δεν έχει υπ' όψιν της έρευνες οι οποίες να αξιολογούν την επίδραση των RF-EMF από 6 έως 300 GHz όσον αφορά στην θερμοκρασία της κεντρικής περιοχής του σώματος, ούτε και το επιβλαβές της επίδρασης αυτής. Ωστόσο, ως συντηρητικό μέτρο, η ICNIRP χρησιμοποιεί τα $4 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$, τιμή η οποία αντιστοιχεί στο **“Λειτουργικό Κατώφλι** δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία” για συχνότητες έως 6 GHz, αλλά και για το φασματικό εύρος 6 έως 300 GHz.

Προς υποστήριξη του γεγονότος ότι η ως άνω τιμή είναι συντηρητική, έχει αποδειχθεί ότι η τιμή $1260 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (Πυκνότητα Προσπίπτουσας Ισχύος – Incident Power Density) Έκθεσης σε υπέρυθρη ακτινοβολία μίας πλευράς του σώματος οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας της κεντρικής περιοχής του σώματος κατά 1°C (Brockow et al., 2007).

Εάν συσχετιστεί αυτή η διαπίστωση με την Έκθεση ενός ενήλικα μάζας 70 κιλών με εκτεθειμένη επιφάνεια 1 m^2 και χωρίς ανάκλαση του δέρματος, αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα ολόσωμη Έκθεση περίπου $18 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$. Αυτή η τιμή είναι πολύ υψηλότερη από το επίπεδο Έκθεσης των $4 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ για RF-EMF κάτω των 6 GHz, το οποίο θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει αύξηση της θερμοκρασίας της κεντρικής περιοχής του σώματος κατά 1°C. Αυτή θεωρείται ως επιπρόσθετη συντηρητική προσέγγιση, καθώς ο Brockow et al. στην μελέτη τους, μείωσαν την απαγωγή θερμότητας χρησιμοποιώντας μια θερμική κουβέρτα, τεχνική η οποία υποτιμά την απαιτούμενη Έκθεση για την αύξηση της θερμοκρασίας της κεντρικής περιοχής του σώματος υπό κανονικές συνθήκες.

Τοπική Θερμοκρασία

Επιπρόσθετα της θερμοκρασίας της κεντρικής περιοχής του σώματος, υπερβολική τοπική θέρμανση είναι δυνατόν να προκαλέσει πόνο και θερμική βλάβη. Υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία όπου αποδεικνύεται ότι, η επαφή του δέρματος με θερμοκρασίες κάτω των 42°C για παρατεταμένες περιόδους δεν προκαλούν πόνο ή βλάβη στα κύτταρα (π.χ., Defrin et al. 2006).

Όπως περιγράφεται στο Παράρτημα Β, τα ως άνω είναι συμβατά με τα περιορισμένα διαθέσιμα δεδομένα για θέρμανση του δέρματος από RF-EMF [π.χ., οι Walters et al. (2000) ανέφεραν κατώφλι πόνου 43°C σε Έκθεση σε ακτινοβολία 94 GHz], αλλά λιγότερα δεδομένα είναι διαθέσιμα για πηγές θερμότητας των οποίων η θερμότητα διεισδύει πέραν της προστατευτικής επιδερμίδος και της θερμο-ευαίσθητης διεπιφάνειας επιδερμίδος – χορίου.

Ωστόσο, υπάρχει επίσης ένας σημαντικός όγκος βιβλιογραφίας ο οποίος αξιολογεί τα κατώφλια για βλαπτικές επιπτώσεις στους ιστούς και η οποία βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι βλάβη είναι δυνατόν να συμβεί σε θερμοκρασίες > 41-43°C, με την πιθανότητα πρόκλησης βλάβης και την σοβαρότητα αυτής να αυξάνεται ανάλογα με τον χρόνο Έκθεσης σε αυτές τις θερμοκρασίες (π.χ., Dewhirst et al. 2003, Yarmolenko et al. 2011, Van Rhoon et al. 2013).

Οι παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες, αντιμετωπίζουν την Έκθεση σε RF-EMF ως δυνητικά επιβλαβή, όταν προκαλεί τοπικές θερμοκρασίες 41°C ή και υψηλότερες. Καθώς η θερμοκρασία ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή του σώματος, η ICNIRP αντιμετωπίζει την Έκθεση σε διαφορετικές περιοχές, χωριστά.

Σε σχέση με αυτές τις περιοχές, οι παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες ορίζουν δύο τύπους ιστών για τους οποίους (με βάση την θερμοκρασία τους υπό ομαλές θερμικές συνθήκες), καθορίζονται διαφορετικά **Λειτουργικά Κατώφλια δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία - Operational adverse health effect thresholds:**

- **Τύπος 1**

Όλοι οι ιστοί του άνω άκρου, πήχης, χέρι, μηρός, κνήμη, κάτω άκρο, λοβός ωτός, κερατοειδής χιτώνας οφθαλμού, πρόσθιο τμήμα οφθαλμού και ίρις, επιδερμίδα, δέρμα, λίπος, μύες και οστικός ιστός.

- **Τύπος 2**

Όλοι οι ιστοί της κεφαλής, των οφθαλμών, κοιλίας, πλάτης, θώρακος και πυέλου, εξαιρουμένων εκείνων οι οποίοι ορίζονται ως ιστοί Τύπου 1.

Η φυσιολογική θερμοκρασία ενός ιστού Τύπου 1 είναι τυπικά < 33 – 36 °C ενώ η αντίστοιχη ενός ιστού Τύπου 2 είναι < 38,5 °C (DuBois 1941, Aschoff and Wever 1958, Arens and Zhang 2006, Shafahi and Vafai 2011).

Αυτές οι τιμές χρησιμοποιήθηκαν για τον καθορισμό των **Λειτουργικών Κατωφλίων** για θερμο-επαγόμενες τοπικές επιπτώσεις στην υγεία. Ορίζοντας τους 41 °C ως θερμοκρασία δυνητικά επιβλαβής, οι παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες υιοθετούν συντηρητική προσέγγιση και θεωρούν τις επαγόμενες λόγω RF-EMF αυξήσεις της θερμοκρασίας κατά 5°C και 2°C, σε ιστούς Τύπου 1 και Τύπου 2, αντίστοιχα, ως **Λειτουργικά Κατώφλια** για την πρόκληση βλαπτικών επιπτώσεων στην υγεία, για τοπική Έκθεση.

Τύπος Ιστών	Περιλαμβάνει	Φυσιολογική Θερμοκρασία	Λειτουργικά Όρια*
Τύπος 1	Όλοι οι ιστοί του άνω άκρου (πήχης, χέρι), μηρός, κνήμη, κάτω άκρο, λοβός ωτός,	< 33–36 °C	5°C

	κερατοειδής χιτώνας οφθαλμού, πρόσθιο τμήμα οφθαλμού και ίρις, επιδερμίδα, δέρμα, λίπος, μύες και οστικός ιστός.		
Τύπος 2	Όλοι οι ιστοί της κεφαλής, των οφθαλμών, κοιλίας, πλάτης, θώρακος και λεκάνης, εξαιρουμένων εκείνων οι οποίοι ορίζονται ως ιστοί Τύπου 1.	< 38.5 °C	2°C
*υιοθετώντας τους 41 °C ως δυνητικό όριο επιβλαβών συνεπειών			

Είναι δύσκολο να οριστούν Περιορισμοί στην Έκθεση ως συνάρτηση της ως άνω κατηγοριοποίησης τύπων ιστού. Γι' αυτόν τον λόγο, η ICNIRP ορίζει δύο περιοχές όπου θεσπίζει διαφορετικούς Περιορισμούς στην Έκθεση για κάθε μία διακριτά, όπου απαιτείται:

- *Κεφαλή και Κορμός*

Καλύπτει την κεφαλή, τους οφθαλμούς, τον λοβό του ωτός, την κοιλία, την πλάτη, τον θώρακα και την πύελο, περιοχή η οποία περιλαμβάνει αμφότερους τους τύπους ιστών 1 και 2.

- *Άκρα*

Καλύπτει το άνω άκρο, πήχη, χέρι, μηρό, κνήμη και κάτω άκρο, περιοχή η οποία περιλαμβάνει αποκλειστικά ιστούς τύπου 1.

Επίπεδα Έκθεσης έχουν προσδιοριστεί για κάθε μία από αυτές τις περιοχές έτσι ώστε να μην προκύπτουν αυξήσεις θερμοκρασίας άνω των 5°C και 2°C, στους ιστούς Τύπου 1 και 2, αντίστοιχα.

Περιοχές	Περιλαμβάνει	Λειτουργικά Κατώφλια	Σχόλια
Κεφαλή και κορμός	κεφαλή, οφθαλμούς, λοβό του ωτός, κοιλία, πλάτη, θώρακα και λεκάνη, έμβρυο, όρχεις	2 και 5 °C	περιλαμβάνει αμφότερους τους τύπους ιστών 1 και 2 max SAR _{10g} = 20 W.kg ⁻¹
Άκρα	άνω άκρο, πήχη, χέρι, μηρό, κνήμη και κάτω άκρο	5 °C	περιλαμβάνει αποκλειστικά ιστούς τύπου 1 max SAR _{10g} = 40 W.kg ⁻¹

Άκρα. Δεδομένου ότι στην κατηγορία “Άκρα” δεν εμπεριέχεται εξ ορισμού, κανένας ιστός Τύπου 2, τα **Λειτουργικά Κατώφλια** δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία για τα άκρα, είναι πάντοτε 5°C.

Όρχεις. Οι όρχεις αντιπροσωπεύουν μια ειδική περίπτωση, όπου μπορεί να συμβούν αναστρέψιμες, διαβαθμισμένες, λειτουργικές μεταβολές εντός της φυσιολογικών ορίων διακύμανσης της θερμοκρασίας για παρατεταμένες περιόδους, χωρίς δεδομένο κατώφλι.

Για παράδειγμα, η σπερματογένεση μειώνεται αναστρέψιμα ως αποτέλεσμα της αύξησης της θερμοκρασίας έως 2 °C η οποία προκαλείται από φυσιολογικές δραστηριότητες, όπως η επικλινή στάση (σε σχέση με την όρθια στάση, Mieusset and Bujan 1995). Με αυτά τα δεδομένα, είναι πιθανόν το **Λειτουργικό Κατώφλι** των ανεπιθύμητων ενεργειών για τον ιστό Τύπου-2 να έχει ως αποτέλεσμα αναστρέψιμες αλλαγές στην λειτουργία του σπέρματος.

Ωστόσο, δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι τέτοιοι μηχανισμοί είναι επαρκείς για να βλάψουν την υγεία. Κατά συνέπεια, η ICNIRP θεωρεί ότι ο **Λειτουργικό Κατώφλια** δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία, των 2 °C, για ιστούς Τύπου-2, ο οποίος ευρίσκεται εντός του φυσιολογικού εύρους για τους όρχεις, να είναι κατάλληλος και για αυτούς.

Έμβρυο. Σημειώνεται ότι το **Λειτουργικό Κατώφλι** δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία για τους ιστούς Τύπου 2, στους οποίους περιλαμβάνεται και η κοιλία και δυνητικά το έμβρυο, είναι κατάλληλο επίσης και για την προστασία έναντι της αύξησης της θερμοκρασίας του εμβρύου άνω των 2°C, για την πρόκληση τερατογένεσης σε πειραματόζωα (Edwards et al. 2003, Ziskin and Morrissey 2011).

- **SAR** επί 10 g.
 - Εντός του εύρους των 100 kHz - 6 GHz, ο Μέσος **SAR** (για ιστό μάζας 10 g) παρέχει ένα κατάλληλο μέτρο της επαγόμενης από RF-EMF αύξησης της θερμοκρασίας των ιστών, υπό σταθερή κατάσταση.
 - Χρησιμοποιείται μάζα 10 g επειδή, έστω και εάν αρχικά μπορεί να παρατηρείται (RF-EMF επαγόμενη) ετερογενής κατανομή της θερμοκρασίας εντός αυτής της μάζας, η διάχυση θερμότητας κατανέμει ταχέως την θερμική ενέργεια σε πολύ μεγαλύτερο όγκο ο οποίος αντιπροσωπεύεται ικανοποιητικά από κυβική μάζα 10 g (Hirata and Fujiwara 2009).
 - Ορίζοντας Εκθέσεις οι οποίες να αντιστοιχούν στα Λειτουργικά Κατώφλια δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία, η ICNIRP καθορίζει με αυτόν τον τρόπο μια μέση Έκθεση σε κυβική μάζα 10 g, ώστε να διατηρείται η αύξηση της θερμοκρασίας για ιστούς Τύπου-1 και Τύπου-2 κάτω από 5 και 2°C αντίστοιχα.
 - Επιπλέον, η ICNIRP χρησιμοποιεί, ως υπόθεση εργασίας, ρεαλιστικές Εκθέσεις (σενάρια Έκθεσης τα οποία ενδέχεται να αντιμετωπίσουν οι άνθρωποι στην καθημερινή τους ζωή, συμπεριλαμβανομένης της επαγγελματικής δραστηριότητας), όπως είναι εκείνες οι οποίες προέρχονται από RF-EMF, προκύπτουσες από πηγές ραδιοεπικοινωνιών. Αυτή η μέθοδος προβλέπει υψηλότερες εκθέσεις στα άκρα από ότι στην κεφαλή και στον κορμό. Τιμή **SAR_{10g}** τουλάχιστον 20 W.kg⁻¹ απαιτείται για να υπερκεραστεί το **Λειτουργικό Κατώφλι** το οποίο προκαλεί δυσμενείς

επιπτώσεις στην κεφαλή και στον κορμό, και 40 W.kg^{-1} για τα άκρα, για χρονικό διάστημα επαρκές για την επίτευξη σταθερής θερμοκρασίας (από λίγα min έως 30 min). Επιλέγεται λειτουργικά το διάστημα των 6 λεπτών ως χρόνος υπολογισμού της μέσης τιμής, καθώς προσεγγίζει σημαντικά την θερμική σταθερά χρόνου για τοπική Έκθεση.

- Για εύρος συχνοτήτων > 6 έως 300 GHz, η ενέργεια των RF-EMF εναποτίθεται κυρίως σε επιφανειακούς ιστούς. Αυτό κάνει το SAR_{10g} , το οποίο συμπεριλαμβάνει βαθύτερους ιστούς, λιγότερο σχετικό με αυτό το εύρος συχνοτήτων.
- Αντίθετα, η Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (S_{ab}) παρέχει ένα μέτρο της απορροφώμενης ισχύος το οποίο προσεγγίζει σημαντικά την επιφανειακή αύξηση της θερμοκρασίας (Funahashi et al. 2018).
- Από 6 έως 10 GHz μπορεί να υπάρχει ακόμη σημαντική απορρόφηση στον υποδόριο ιστό.
- Ωστόσο, η μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας (και συνεπώς η χειρότερη περίπτωση) για το εύρος των συχνοτήτων 6 έως 300 GHz, είναι κοντά στην επιφάνεια του δέρματος και Έκθεση η οποία θα περιορίσει την αύξηση της θερμοκρασίας κάτω από τον **Λειτουργικό Κατώφλι** των δυσμενών επιπτώσεων για τον ιστό Τύπου 1 (5°C), θα περιορίσει επίσης την αύξηση της θερμοκρασίας κάτω από το **Λειτουργικό Κατώφλι** των δυσμενών επιπτώσεων για τον ιστό Τύπου 2 (2°C).

Ας σημειωθεί ότι υπάρχει αβεβαιότητα σχετικά με την ακριβή συχνότητα κατά την οποία το SAR αντικαθίσταται από την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος – Absorbed Power Density (S_{ab}). Επιλέχθηκαν τα 6 GHz καθώς σε αυτήν την συχνότητα, το μεγαλύτερο ποσοστό της απορροφώμενης ισχύος ευρίσκεται στον δερματικό ιστό, ο οποίος καλύπτει το άνω μισό ενός κυβικού όγκου 10 g SAR (είναι δυνατόν να αναπαρασταθεί από την επιφάνεια $2,15 \text{ cm} \times 2,15 \text{ cm}$ του κύβου).

Πρόσφατες μοντελοποιήσεις της θερμότητας και αναλυτικές λύσεις προτείνουν ότι, για συχνότητες RF-EMF μεταξύ 6 και 30 GHz, η μέση Έκθεση επί μίας τετραγωνικής περιοχής 4 cm^2 παρέχει μια καλή εκτίμηση της τοπικής αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας (Hashimoto et al. 2017, Foster et al. 2017).

Καθώς η συχνότητα αυξάνεται περαιτέρω, η επιφάνεια για την οποία υπολογίζεται η μέση τιμή (averaging area) πρέπει να μειώνεται για να λαμβάνεται υπ' όψιν η πιθανότητα μικρότερων διαμέτρων δέσμης, όπως 1 cm^2 , στην συχνοτική περιοχή από περίπου 30 GHz έως 300 GHz. Παρόλο που η επιφάνεια μέτρησης η οποία αντιστοιχεί καλύτερα στην αύξηση της θερμοκρασίας αλλάζει σταδιακά από 4 cm^2 σε 1 cm^2 , καθώς η συχνότητα αυξάνεται από 6 έως 300 GHz, η ICNIRP χρησιμοποιεί μια τετραγωνική περιοχή 4 cm^2 για συχνότητες από > 6 έως 300 GHz, ως μία πρακτική εξειδίκευση προστασίας.

Επιπλέον, για συχνότητες > 30 έως 300 GHz (όπου είναι δυνατόν να προκύψει Έκθεση εστιακής δέσμης), χρησιμοποιείται μία πρόσθετη χωρική μεσοσταθμική επιφάνεια 1 cm^2 για να διασφαλιστεί ότι δεν θα υπερκεραστούν τα **Λειτουργικά Κατώφλια** δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία σε μικρότερες περιοχές.

Καθώς:

- ✓ χρονικό διάστημα 6 min θεωρείται ως κατάλληλο χρονικό διάστημα για τον υπολογισμό της μέσης τιμής (Morimoto et al. 2017) και
- ✓ απαιτείται Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (S_{ab}) της τάξης των $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ για αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας κατά 5°C , για την προσέγγιση του **Λειτουργικού Κατώφλιου** εμφάνισης δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία, στους ιστούς Τύπου 1, για συχνότητες > 6 και έως 300 GHz (Sasaki et al. 2017),

η ICNIRP έχει ορίσει την τιμή της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος (S_{ab}) για τοπική θέρμανση στα $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, ως μέση τιμή για χρονικό διάστημα 6 min και τετραγωνική περιοχή 4 cm^2 . Αυτά τα δεδομένα θα περιορίσουν επίσης την αύξηση της θερμοκρασίας στους ιστούς Τύπου 2, κάτω από τον **Λειτουργικό Κατώφλι** για δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία των 2°C .

Επιπλέον, καθορίζεται η Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (S_{ab}) στα $400 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ως μέση τιμή για επιφάνεια 1 cm^2 και για συχνότητες $> 30 \text{ GHz}$.

Ταχεία Αύξηση της Θερμοκρασίας

Για ορισμένους τύπους Έκθεσης, η ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία “θερμών σημείων – hot spots” δηλαδή ετερογενή κατανομή της θερμοκρασίας σε μάζα ιστών (Foster et al. 2016, Morimoto et al. 2017, Laakso et al. 2017, Kodera et al. 2018). Αυτό υποδηλώνει την ανάγκη να λαμβάνεται υπ’ όψιν η μέση τιμή μέτρησης σε μικρότερα χρονικά διαστήματα, για ορισμένους τύπους Έκθεσης.

Τα “θερμά σημεία” είναι δυνατόν να εμφανιστούν για εκθέσεις μικρής διάρκειας, επειδή δεν υπάρχει επαρκής χρόνος για να κατανεμηθεί η θερμότητα στον ιστό (ή να διαχυθεί στο περιβάλλον). Αυτό το φαινόμενο καθίσταται περισσότερο έντονο καθώς αυξάνεται η συχνότητα, λόγω του μικρότερου βάθους διείσδυσης.

Για να ληφθούν υπ’ όψιν τέτοιες ετερογενείς κατανομές θερμοκρασίας, απαιτείται μια προσαρμογή του Επιπέδου Έκθεσης σταθερής κατάστασης. Αυτή δύναται να επιτευχθεί καθορίζοντας το μέγιστο επιτρεπόμενο Επίπεδο Έκθεσης, ως συνάρτηση του χρόνου, προκειμένου να περιοριστεί η αύξηση της θερμοκρασίας κάτω από τους **Λειτουργικά Κατώφλια** δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία.

- $400 \text{ MHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$.

Από 400 MHz έως 6 GHz , η ICNIRP καθορίζει τον Περιορισμό σε όρους Ειδικής Απορρόφησης Ενέργειας - Specific Energy Absorption (**SA**) για κυβική μάζα 10 g . Η **SA** περιορίζεται στα:

$$7,2 \left[0,05 + 0,95 \left(\frac{t}{360} \right)^{0.5} \right], \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ για Έκθεση κεφαλής και κορμού και}$$

$$14,4 \left[0,025 + 0,975 \left(\frac{t}{360} \right)^{0.5} \right], \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \text{ για Έκθεση στα άκρα,}$$

όπου t είναι το διάστημα Έκθεσης σε sec (Kodera et al. 2018).

Ας σημειωθεί ότι για αυτήν την εξειδίκευση, η Έκθεση από οποιονδήποτε παλμό, ομάδα παλμών ή υποομάδα παλμών σε σειρά, καθώς και από το άθροισμα των εκθέσεων (συμπεριλαμβανομένου των μη-παλμικών RF-EMF), η οποία αποδίδεται σε

t sec, δεν πρέπει να υπερβαίνει τις τιμές των ως άνω μαθηματικών εκφράσεων (προκειμένου να διασφαλιστεί ότι τα θερμοκρασιακά κατώφλια δεν υπερβαίνονται).

- < 400 MHz.

Δεν υπάρχει καθορισμένο Επίπεδο Έκθεσης βραχείας διάρκειας, καθώς, λόγω του μεγάλου βάθους διείσδυσης, η συνολική Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας - Specific Energy Absorption (SA) η οποία προκύπτει από την μέση τιμή του τοπικού SAR για 6 min δεν είναι δυνατόν να αυξήσει την θερμοκρασία περισσότερο από το **Λειτουργικό Κατώφλι** το οποίο έχει θεσπιστεί για τις δυσμενείς επιπτώσεων στην υγεία (ανεξάρτητα από το ιδιαίτερο μοτίβο παλμών ή βραχέων εκθέσεων).

- 6 GHz.

Άνω των 6 GHz, η ICNIRP καθορίζει το επίπεδο Έκθεσης τόσο για την κεφαλή και τον κορμό όσο και για τα άκρα, σε όρους Απορροφώμενης Πυκνότητας Ενέργειας (U_{ab}) για μεσοσταθμική μέτρηση σε τετραγωνική περιοχή 4 cm², έτσι ώστε το U_{ab} να ορίζεται ως

$$\text{Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας } (U_{ab}) = 72 \left[0,05 + 0,95 \left(\frac{t}{360} \right)^{0,5} \right], \frac{kJ}{m^2}$$

όπου t είναι το διάστημα Έκθεσης σε sec (επέκταση των Kodera et al. 2018).

Ένα επιπρόσθετο Επίπεδο Έκθεσης για μέσες τετραγωνικές περιοχές μέτρησης 1 cm² ισχύει για RF-EMF με συχνότητες > 30 έως 300 GHz για να ληφθεί υπ' όψιν η Έκθεση εστιασμένης δέσμης και η οποία δίδεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\text{Απορροφ. Πυκνότητα Ενέργειας } (U_{ab}) = 144 \left[0,025 + 0,975 \left(\frac{t}{360} \right)^{0,5} \right], \frac{kJ}{m^2}$$

Οι τιμές Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας (SA) και Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας (U_{ab}) είναι συντηρητικές, καθώς δεν επαρκούν για την αύξηση των θερμοκρασιών ιστών Τύπου 1 ή 2 κατά 5 ή 2 °C, αντίστοιχα.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΡΑΔΙΟΚΥΜΑΤΙΚΗΣ EMF ΕΚΘΕΣΗΣ

Όπως περιγράφεται στην ενότητα "Επιστημονική βάση για τον περιορισμό της ραδιοκυματικής έκθεσης", εντοπίζονται επίπεδα RF-EMF τα οποία αντιστοιχούν σε λειτουργικά δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Από αυτά τα επίπεδα προέρχονται οι **Βασικοί Περιορισμοί** και περιγράφονται στην ενότητα "**Βασικοί Περιορισμοί**" στην συνέχεια.

Οι **Βασικοί Περιορισμοί** οι σχετικοί με την διέγερση των νεύρων για εύρος συχνοτήτων RF-EMF από 100 kHz έως 10 MHz, από την ICNIRP (2010) προστέθηκαν στην συνέχεια στους παρόντες **Βασικούς Περιορισμούς**, με το τελικό σύνολο των **Βασικών Περιορισμών** να δίδεται στους Πίνακες 2-4.

Επίπεδα Αναφοράς εξήχθησαν από αυτούς τους τελικούς **Βασικούς Περιορισμούς** και περιγράφονται στην ενότητα "**Επίπεδα Αναφοράς**", με λεπτομέρειες οι οποίες σχετίζονται με τον τρόπο χειρισμού πολλαπλών πεδίων όσον αφορά στους

Περιορισμούς και τα οποία με την σειρά τους παρατίθενται στην ενότητα “Ταυτόχρονη Έκθεση Πεδίων Πολλαπλών Συχνοτήτων”.

Κατευθυντήριες Οδηγίες για ρεύματα επαφής παρέχονται στην ενότητα “Κατευθυντήριες Οδηγίες για Ρεύματα Επαφής (Contact Currents)” και εκτιμήσεις για την υγεία για την επαγγελματική Έκθεση, περιγράφονται στην ενότητα “Εκτίμηση Μείωσης Κινδύνου για Επαγγελματική Έκθεση”.

Για να υπάρξει συμμόρφωση με τις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες, για κάθε παράγοντα Έκθεσης (π.χ., E-field, H-field, SAR) και τις χωρικές και χρονικές μέσες συνθήκες μέτρησης, θα πρέπει να τηρείται είτε ο **Βασικός Περιορισμός** είτε το αντίστοιχο **Επίπεδο Αναφοράς**. Δεν απαιτείται συμμόρφωση και με τα δύο. Ας σημειωθεί ότι, όπου οι Περιορισμοί καθορίζουν συγκεκριμένα μέσα διαστήματα μετρήσεων, “όλα” αυτά τα μέσα διαστήματα μετρήσεων θα πρέπει να συμμορφώνονται με τους Περιορισμούς.

Βασικοί Περιορισμοί (Basic Restrictions)

Οι τιμές **Βασικών Περιορισμών** παρατίθενται στους Πίνακες 2-4 μαζί με μία επισκόπηση της προέλευσής τους η οποία περιγράφεται κατωτέρω. Όπως περιγράφεται ανωτέρω, οι **Βασικοί Περιορισμοί** από την ICNIRP (2010) για το εύρος συχνοτήτων 100 kHz έως 10 MHz δεν έχουν επαναξιολογηθεί εδώ. Αυτοί περιγράφονται στον Πίνακα 4.

Μία περισσότερο αναλυτική περιγραφή των σχετικών με τους **Βασικούς Περιορισμούς** θεμάτων παρέχεται στο Παράρτημα Α, στην ενότητα “Σχετικοί Βιοφυσικοί Μηχανισμοί”.

Ας σημειωθεί ότι για τους **Βασικούς Περιορισμούς** οι οποίοι περιγράφονται στην συνέχεια, η έγκυος αντιμετωπίζεται ως μέλος του γενικού πληθυσμού. Αυτό συμβαίνει επειδή πρόσφατη εξομοίωση υποδηλώνει ότι τόσο για τα σενάρια Έκθεσης ολόκληρου του σώματος όσο και για την τοπική Έκθεση, η Έκθεση της μητέρας στους **Βασικούς Περιορισμούς** για τους επαγγελματίες δύναται να οδηγήσει σε εκθέσεις του εμβρύου οι οποίες θα υπερβαίνουν τους **Βασικούς Περιορισμούς** για τον γενικό πληθυσμό.

Πίνακας 2: Βασικοί Περιορισμοί για Έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία από 100 kHz μέχρι 300 GHz, για μέσο χρονικό διάστημα $\geq 6 \text{ min}^a$

Σενάριο Έκθεσης	Εύρος Συχνοτήτων	Μέσο SAR ολόκληρου του σώματος (W.kg^{-1})	SAR για τοπικές εκθέσεις κεφαλής και κορμού (W.kg^{-1})	SAR για τοπικές εκθέσεις στα άκρα (W.kg^{-1})	Τοπική S_{ab} (W.m^{-2})
Επαγγελματική	100 kHz - 6 GHz	0,4	10	20	NA
	> 6 - 300 GHz	0,4	NA	NA	100
Γενικού Πληθυσμού	100 kHz - 6 GHz	0,08	2	4	NA
	> 6 - 300 GHz	0,08	NA	NA	20

^a Σημείωση

1. Το “ΝΑ” σημαίνει “μη εφαρμόσιμο” και δεν απαιτείται να λαμβάνεται υπ’ όψιν κατά τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης.
2. Ο Μέσος Ρυθμός Ειδικής Απορρόφησης Ενέργειας (Specific Energy Absorption Rate – SAR) για ολόκληρο το σώμα θα πρέπει να υπολογίζεται μεσοσταθμικά σε διάστημα 30 min.
3. Οι τοπικές εκθέσεις SAR ($W.kg^{-1}$) και S_{ab} ($W.m^{-2}$) θα πρέπει να υπολογίζονται μεσοσταθμικά σε διάστημα 6 min.
4. Ο τοπικός SAR θα πρέπει να υπολογίζεται μεσοσταθμικά σε κυβική μάζα 10 g.
5. Η τοπική Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (Absorbed Power Density - S_{ab}) θα πρέπει να υπολογίζεται μεσοσταθμικά σε μια τετραγωνική επιφάνεια $4 cm^2$ του σώματος. Άνω των 30 GHz, επιβάλλεται ένας επιπλέον περιορισμός, έτσι ώστε υπολογιζόμενη μεσοσταθμικά η Έκθεση σε μια τετραγωνική επιφάνεια $1 cm^2$ του σώματος, να περιορίζεται διπλάσια από αυτήν του περιορισμού των $4 cm^2$.

Πίνακας 3: Βασικοί Περιορισμοί για Έκθεση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων για 100 kHz έως 300 GHz, για χρονικά διαστήματα ολοκλήρωσης < 6 min.^a

Σενάριο Έκθεσης	Εύρος Συχνοτήτων	Τοπική Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας (SA) για κεφαλή και κορμό (σε $kJ.kg^{-1}$)	Τοπική Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας (SA) για άκρα (σε $kJ.kg^{-1}$)	Τοπική Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας (U_{ab}) (σε $kJ.m^{-2}$)
Επαγγελματική	100 kHz έως 400 MHz	NA	NA	NA
	> 400 MHz έως 6 GHz	$3,6[0,05+0,95(t/360)^{0.5}]$	$7,2[0,025+0,975(t/360)^{0.5}]$	NA
	> 6 GHz έως 300 GHz	NA	NA	$36[0,05+0,95(t/360)^{0.5}]$
Γενικός Πληθυσμός	100 kHz έως 400 MHz	NA	NA	NA
	> 400 MHz έως 6 GHz	$0,72[0,05+0,95(t/360)^{0.5}]$	$1,44[0,025+0,975(t/360)^{0.5}]$	NA
	> 6 GHz έως 300 GHz	NA	NA	$7.2[0,05+0,95(t/360)^{0.5}]$

^a Σημείωση

1. Το “ΝΑ” σημαίνει “μη εφαρμόσιμο” και δεν απαιτείται να λαμβάνεται υπ’ όψιν κατά τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης.
2. ο χρόνος t καταγράφεται σε sec και οι Περιορισμοί θα πρέπει να ικανοποιούνται για όλες τις τιμές μεταξύ $0 < t < 360 s$, ανεξαρτήτως των χρονικών χαρακτηριστικών της ίδιας της Έκθεσης.
3. Η Τοπική Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας (SA) πρέπει να υπολογίζεται ως μέση τιμή σε κυβική μάζα 10 g.
4. Η Τοπική Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας (U_{ab}) πρέπει να μετράται σε μια τετραγωνική επιφάνεια $4 cm^2$ του σώματος. Άνω των 30 GHz, επιβάλλεται ένας πρόσθετος περιορισμός, έτσι ώστε η Έκθεση σε μια τετραγωνική επιφάνεια $1 cm^2$ του σώματος να περιορίζεται μεσοσταθμικά

σε $72[0,025 + 0,975 (t / 360)^{0,5}]$ για επαγγελματική έκθεση και $14,4[0,025 + 0,975 (t / 360)^{0,5}]$ για Έκθεση του γενικού πληθυσμού.

5. Η Έκθεση από κάθε παλμό, ομάδα παλμών ή υποομάδα παλμών σε σειρά, καθώς και από το άθροισμα των εκθέσεων (συμπεριλαμβανομένων μη παλμικών RF-EMFs), η οποία αποδίδεται σε t sec, δεν πρέπει να υπερβαίνει αυτά τα επίπεδα.

Ολόσωμο Μέσο SAR (100 kHz έως 300 GHz)

Όπως περιγράφεται στην ενότητα "Κεντρική Θερμοκρασία Σώματος", οι Κατευθυντήριες Οδηγίες λαμβάνουν έναν Ολόσωμο Μέσο SAR ίσο με 4 W.kg^{-1} για ολόκληρο το σώμα και για διάστημα ακτινοβολήσης 30 min, ως το Επίπεδο Έκθεσης το οποίο αντιστοιχεί στον **Λειτουργικό Κατώφλι** για δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία, για αύξηση της θερμοκρασίας της κεντρικής περιοχής του σώματος κατά 1°C .

Ένας συντελεστής μείωσης ίσος με 10 εφαρμόστηκε σε αυτόν το κατώφλι για επαγγελματική Έκθεση, ώστε να ληφθεί υπ' όψιν η επιστημονική αβεβαιότητα, οι διαφορές στην θερμική φυσιολογία του πληθυσμού, η μεταβλητότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών καθώς και τα επίπεδα φυσικής δραστηριότητας.

Η δυνατότητα ενός ατόμου να μεταβάλλει και να ρυθμίζει την θερμοκρασία της κεντρικής περιοχής του σώματός του είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων (factors) την οποία οι Κατευθυντήριες Οδηγίες δεν μπορούν να ελέγξουν. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν κεντρικές και περιφερειακές αλλαγές στην διάχυση του αίματος και στον ρυθμό εφίδρωσης (αλλαγές οι οποίες με την σειρά τους επηρεάζονται από μια σειρά άλλων παραγόντων, όπως η ηλικία και ορισμένες καταστάσεις υγείας), όπως επίσης και στην συμπεριφορά και στις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Με αυτόν τον τρόπο, ο **Βασικός Περιορισμός** για επαγγελματική Έκθεση προσδιορίζεται ως τιμή του Ολόσωμου Μέσου SAR, ίση με $0,4 \text{ W.kg}^{-1}$, για 30 min έκθεση. Μολονότι αυτό σημαίνει ότι το SAR είναι δυνατόν να είναι υψηλότερο για μικρότερα χρονικά διαστήματα, αυτό δεν θα επηρεάσει αισθητά την αύξηση της θερμοκρασίας της κεντρικής περιοχής του σώματος, επειδή η θερμοκρασία θα εξομαλυνθεί σε μία μέση τιμή στο διάστημα των 30 min και σε αυτήν την μέση χρονική τιμή θερμοκρασίας αναφερόμαστε εδώ.

Επιπλέον, καθώς θα πρέπει να τηρούνται ταυτόχρονα τόσο οι Περιορισμοί για ολόκληρο το σώμα όσο και οι τοπικοί Περιορισμοί, Εκθέσεις επαρκώς υψηλές ώστε να καθίστανται επικίνδυνες τοπικά, θα αντιμετωπίζονται από τους Τοπικούς Περιορισμούς οι οποίοι περιγράφονται κατωτέρω.

Δεδομένου ότι ο γενικός πληθυσμός δεν είναι δυνατόν να γνωρίζει τους κινδύνους οι οποίοι μπορούν να προκληθούν από την Έκθεση και επομένως να είναι σε θέση να μειώσει τον κίνδυνο, εφαρμόζεται ένας συντελεστής μείωσης 50 για τον γενικό πληθυσμό, ορίζοντας τον περιορισμό για το Ολόσωμο Μέσο SAR για τον γενικό πληθυσμό σε $0,08 \text{ W.kg}^{-1}$ μέση τιμή για χρόνο 30 min.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η επιστημονική αβεβαιότητα η οποία αφορά τόσο στην δοσιμετρία όσο και στις πιθανές συνέπειες στην υγεία από την Έκθεση σε ραδιοσυχνότητες ολόκληρου του σώματος, έχει μειωθεί σημαντικά από την χρονολογία έκδοσης των Κατευθυντηρίων Οδηγιών της ICNIRP (1998).

Αυτό θα δικαιολογούσε λιγότερο συντηρητικούς συντελεστές μείωσης, αλλά καθώς η ICNIRP θεωρεί ότι τα οφέλη από την διατήρηση σταθερών **Βασικών Περιορισμών** υπερτερούν των οποιωνδήποτε πλεονεκτημάτων τα οποία θα παρέχουν οι έστω και ανεπαίσθητες αλλαγές σε αυτούς, διατήρησε τους ίδιους συντελεστές μείωσης για τους μέσους **Βασικούς Περιορισμούς** ολόκληρου του σώματος, όπως προηγουμένως.

Ομοίως, παρόλο που η αύξηση της θερμοκρασίας είναι περισσότερο επιφανειακή καθώς αυξάνεται η συχνότητα (με αποτέλεσμα να είναι ευκολότερο για την προκύπτουσα θερμότητα να διαχέεται στο περιβάλλον), οι περιορισμοί του Ολόσωμου Μέσου **SAR** για συχνότητες άνω των 6 GHz έχουν οριστεί συντηρητικά να είναι οι ίδιοι με αυτούς οι οποίοι αντιστοιχούν σε συχνότητες ≤ 6 GHz.

Πίνακας 4: Βασικοί Περιορισμοί για Έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία συχνοτήτων από 100 kHz έως 10 MHz και για μέγιστες χωρικές τιμές (peak spatial values) ^α

Σενάριο Έκθεσης	Εύρος Συχνοτήτων	Επαγόμενο Ηλεκτρικό Πεδίο E_{ind} ($V \cdot m^{-1}$)
Επαγγελματικό	100 kHz - 10 MHz	$2,7 \cdot 10^{-4} f$
Γενικός Πληθυσμός	100 kHz - 10 MHz	$1,34 \cdot 10^{-4} f$

^α Σημείωση

1. Η συχνότητα f υπολογίζεται σε Hz
2. Οι τιμές Περιορισμού οποιασδήποτε περιοχή του σώματος, πρέπει να υπολογίζονται μεσοσταθμικά ως μέσες τιμές τετραγωνικής ρίζας (rms) για συνεχόμενους ιστούς διαστάσεων 2 mm x 2 mm x 2 mm (όπως προσδιορίζεται στο ICNIRP 2010).

Τοπικό SAR (100 kHz - 6 GHz)

Κεφαλή και Κορμός

Όπως περιγράφεται στην ενότητα "Τοπική Θερμοκρασία" εντός του εύρους των συχνοτήτων 100 kHz έως 6 GHz, οι Κατευθυντήριες Οδηγίες ορίζουν μία μέση τιμή **SAR** $20 W \cdot kg^{-1}$, για κυβική μάζα 10 g και για χρονικό διάστημα 6 min, ως εκείνο το επίπεδο Τοπικής Έκθεσης το οποίο αντιστοιχεί στον **Λειτουργικό Κατώφλι** δυσμενών επιπτώσεων της υγείας για την κεφαλή και για τον κορμό (5 °C σε ιστό Τύπου 1 και 2 °C σε ιστό Τύπου 2).

Όσον αφορά στην επαγγελματική Έκθεση, εφαρμόζεται ένας συντελεστής μείωσης 2, ώστε να ληφθεί υπ' όψιν η επιστημονική αβεβαιότητα, οι διαφορές στην θερμική φυσιολογία του πληθυσμού, η μεταβλητότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών καθώς και τα επίπεδα φυσικής δραστηριότητας.

Οι συντελεστές μείωσης για την τοπική Έκθεση είναι μικρότεροι από ό,τι για την Έκθεση σε ολόκληρο το σώμα, καθώς το σχετικό κατώφλι επιπτώσεων στην υγεία εξαρτάται λιγότερο από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και τις υψηλά μεταβαλλόμενες θερμορυθμιστικές διεργασίες και επειδή η σχετική επίδραση στην υγεία είναι ιατρικά λιγότερο σοβαρή.

Τοιουτοτρόπως, ο **Βασικός Περιορισμός** για επαγγελματική Έκθεση είναι $SAR_{10g} = 10 W \cdot kg^{-1}$ υπολογιζόμενος ως μέση τιμή σε διάστημα 6 min.

Δεδομένου ότι ο γενικός πληθυσμός δεν είναι δυνατόν να γνωρίζει τους κινδύνους οι οποίοι εγκυμονούν οι εκθέσεις και επομένως να είναι σε θέση να μειώσει τον κίνδυνο, λαμβάνοντας δε υπ' όψιν τις μεγαλύτερες διαφορές στην θερμική φυσιολογία του γενικού πληθυσμού, εφαρμόζεται ένας συντελεστής μείωσης 10 για το γενικό κοινό, μειώνοντας τον **Βασικό Περιορισμό** για τον γενικό πληθυσμό σε $SAR_{10g} = 2 \text{ W.kg}^{-1}$ ως μέση τιμή σε διάστημα 6 min.

Άκρα

Όπως περιγράφεται στην ενότητα “Τοπική θερμοκρασία”, εντός του εύρους των συχνοτήτων 100 kHz έως 6 GHz, οι Κατευθυντήριες Οδηγίες ορίζουν την τιμή του **SAR** στα 40 W.kg^{-1} , σε κυβική μάζα 10 g, ως μέση τιμή σε διάστημα 6 min, ως το επίπεδο Τοπικής Έκθεσης το οποίο αντιστοιχεί στον **Λειτουργικό Κατώφλι** των δυσμενών επιπτώσεων για τα άκρα, για αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας κατά 5°C .

Όπως για τους Περιορισμούς για την κεφαλή και τον κορμό, εφαρμόζεται ένας συντελεστής μείωσης ίσος με 2 σε αυτό το κατώφλι για επαγγελματική έκθεση, ώστε να ληφθεί υπ' όψιν η επιστημονική αβεβαιότητα της Έκθεσης, οι διαφορές στην θερμική φυσιολογία στον πληθυσμό, η μεταβλητότητα στις περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και τα επίπεδα φυσικής δραστηριότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα **Βασικό Περιορισμό** για την επαγγελματική Έκθεση, $SAR_{10g} = 20 \text{ W.kg}^{-1}$.

Καθώς ο γενικός πληθυσμός δεν αναμένεται να είναι ενήμερος για τις Εκθέσεις και επομένως να είναι σε θέση να μειώσει τον κίνδυνο και λαμβάνοντας δε υπ' όψιν τις μεγαλύτερες διαφορές στην θερμική φυσιολογία του γενικού πληθυσμού, εφαρμόζεται ένας συντελεστής μείωσης ίσος με 10, μειώνοντας τον **Βασικό Περιορισμό** για τον γενικό πληθυσμό στα 4 W.kg^{-1} υπολογιζόμενος μεσοσταθμικά σε διάστημα 6 min.

Τοπικό SA (400 MHz έως 6 GHz)

Όπως περιγράφεται στην ενότητα “Ταχεία Αύξηση της Θερμοκρασίας”, για συχνότητες $> 400 \text{ MHz}$ έως 6 GHz, ένας επιπλέον Περιορισμός απαιτείται για να διασφαλιστεί ότι η αθροισόμενη ενέργεια, η επιτρεπόμενη από τον **Βασικό Περιορισμό** του Μέσου SAR_{10g} σε διάστημα 6 min δεν απορροφάται από τους ιστούς πολύ γρήγορα.

Σύμφωνα με τα ως άνω, η ICNIRP ορίζει ένα επίπεδο Ειδικής Απορρόφησης Ενέργειας (**SA**) για διαστήματα Έκθεσης μικρότερα των 6 min, ως συνάρτηση του χρόνου, για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από τον **Λειτουργικό Κατώφλι** των επιπτώσεων στην υγεία.

Αυτό το επίπεδο Ειδικής Απορρόφησης Ενέργειας (**SA**), υπολογιζόμενο μεσοσταθμικά επί κυβικής μάζας 10 g, δίδεται από τις παρακάτω εξισώσεις:

✓ για την κεφαλή και τον κορμό: $7,2 \left[0,05 + 0,95 \left(\frac{t}{360} \right)^{0,5} \right] \frac{kJ}{kg}$ και

✓ για τα άκρα: $14,4 \left[0,025 + 0,975 \left(\frac{t}{360} \right)^{0,5} \right] \frac{kJ}{kg}$

όπου t είναι το διάστημα Έκθεσης σε sec.

Όπως και με τους **Βασικούς Περιορισμούς** του SAR_{10g} , εφαρμόστηκε ένας συντελεστής μείωσης ίσος με 2 σε αυτά τα Επίπεδα Έκθεσης, για την επαγγελματική Έκθεση, ώστε να ληφθεί υπ' όψιν η επιστημονική αβεβαιότητα, οι διαφορές στην θερμική φυσιολογία του πληθυσμού, η μεταβλητότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών καθώς και τα επίπεδα φυσικής δραστηριότητας.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι **Βασικοί Περιορισμοί** τόσο για την κεφαλή και τον κορμό όσο και για τα άκρα, να υπολογίζονται από τους κάτωθι τύπους:

$$\checkmark \text{ για την κεφαλή και τον κορμό: } 3,6 \left[0,05 + 0,95 \left(\frac{t}{360} \right)^{0.5} \right] \frac{kJ}{kg}$$

$$\checkmark \text{ για τα άκρα: } 7,2 \left[0,025 + 0,975 \left(\frac{t}{360} \right)^{0.5} \right] \frac{kJ}{kg}$$

όπου t είναι το διάστημα Έκθεσης σε sec.

Καθώς ο γενικός πληθυσμός δεν αναμένεται να είναι ενήμερος για τις Εκθέσεις και επομένως να είναι σε θέση να μειώσει τον κίνδυνο και λαμβάνοντας δε υπ' όψιν τις μεγαλύτερες διαφορές στην θερμική φυσιολογία του γενικού πληθυσμού, εφαρμόζεται ένας συντελεστής μείωσης ίσος με 10 για τον γενικό πληθυσμό.

Αυτό οδηγεί τον **Βασικό Περιορισμό** για τον γενικό πληθυσμό, για την κεφαλή και τον κορμό, να υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{για την κεφαλή και τον κορμό: } 0,72 \left[0,05 + 0,95 \left(\frac{t}{360} \right)^{0.5} \right] \frac{kJ}{kg} \text{ και}$$

$$\text{για τα άκρα: } 1,44 \left[0,025 + 0,975 \left(\frac{t}{360} \right)^{0.5} \right] \frac{kJ}{kg}$$

όπου t είναι το διάστημα Έκθεσης σε sec.

Ας σημειωθεί ότι για αυτούς τους **Βασικούς Περιορισμούς** βραχείας Έκθεσης, η Έκθεση από οποιονδήποτε παλμό, ομάδα παλμών ή υποομάδα παλμών σε σειρά, καθώς και από το άθροισμα των εκθέσεων (συμπεριλαμβανομένων των μη παλμικών RF-EMFs), η οποία αποδίδεται σε t sec, δεν πρέπει να υπερβαίνει αυτές τις τοπικές τιμές **SA**.

Τοπική Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος - Power Density (S_{ab}) > 6 GHz έως 300 GHz)

Όπως περιγράφεται στην ενότητα "Τοπική Θερμοκρασία", για συχνότητες εντός του εύρους > 6 έως 300 GHz, οι Κατευθυντήριες Οδηγίες ορίζουν τιμή της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος - Absorbed Power Density (S_{ab}) ίση με $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, υπολογιζόμενη ως μέση τιμή για 6 min, για μια τετραγωνική επιφάνεια 4 cm^2 του σώματος, ως την τοπική Έκθεση η οποία αντιστοιχεί στον **Λειτουργικό Κατώφλι** των δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία τόσο για τις περιοχές της κεφαλής και του κορμού, όσο και των άκρων ($5 \text{ }^\circ\text{C}$ και $2 \text{ }^\circ\text{C}$ τοπική αύξηση της θερμοκρασίας στους ιστούς Τύπου 1 και 2, αντίστοιχα).

Όπως και για τους Περιορισμούς για το τοπικό SAR, στις ως άνω τιμές, εφαρμόστηκε συντελεστής μείωσης ίσος με 2, για επαγγελματική Έκθεση, ώστε να ληφθεί υπ' όψιν η επιστημονική αβεβαιότητα, οι διαφορές στην θερμική φυσιολογία του πληθυσμού, η μεταβλητότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών καθώς και τα επίπεδα φυσικής δραστηριότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα έναν Βασικό Περιορισμό για την επαγγελματική Έκθεση των $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, υπολογιζόμενο μεσοσταθμικά για 6 min, για μια τετραγωνική επιφάνεια 4 cm^2 του σώματος.

Καθώς ο γενικός πληθυσμός δεν αναμένεται να είναι ενήμερος για τις Εκθέσεις και επομένως να είναι σε θέση να μειώσει τον κίνδυνο και λαμβάνοντας δε υπ' όψιν τις μεγαλύτερες διαφορές στην θερμική φυσιολογία του γενικού πληθυσμού, εφαρμόζεται ένας συντελεστής μείωσης ίσος με 10, ο οποίος μειώνει τον Βασικό Περιορισμό του γενικού πληθυσμού στα $20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, υπολογιζόμενο μεσοσταθμικά άνω των 6 min, για τετραγωνική επιφάνεια 4 cm^2 του σώματος.

Επιπλέον, για την Έκθεση η οποία προκύπτει από μία εστιακή δέσμη συχνότητας > 30 έως 300 GHz , η Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος, σε μια τετραγωνική επιφάνεια 1 cm^2 του σώματος, δεν πρέπει να υπερβαίνει μεσοσταθμικά την διπλάσια τιμή των Βασικών Περιορισμών για την επιφάνεια των 4 cm^2 τόσο για τους εργαζόμενους όσο και για τον γενικό πληθυσμό.

Τοπική Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας (Energy Density) - U_{ab} ($> 6 \text{ GHz}$ έως 300 GHz)

Όπως περιγράφεται και στην ενότητα “Ταχεία Αύξηση της Θερμοκρασίας”, για συχνότητες > 6 έως 300 GHz , απαιτείται ένας επιπλέον περιορισμός για να διασφαλιστεί ότι η αθροιστική ενέργεια (η επιτρεπόμενη από τον Βασικό Περιορισμό Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος - S_{ab} , για Έκθεση χρονικής διάρκειας 6 min), δεν απορροφάται πολύ γρήγορα από τον ιστό.

Κατά συνέπεια, τόσο για την κεφαλή και τον κορμό, όσο και για τα άκρα, η ICNIRP θέτει ένα μέγιστο επίπεδο Απορροφώμενης Πυκνότητας Ενέργειας - U_{ab} για διαστήματα Έκθεσης κάτω των 6 min, ως συνάρτηση του χρόνου, με σκοπό τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από τα Λειτουργικά Κατώφλια δυσμενών επιπτώσεων για την υγεία, και για τους δύο τύπους ιστών, Τύπος-1 και Τύπος-2.

Αυτό το επίπεδο Απορροφώμενης Πυκνότητας Ενέργειας (U_{ab}), υπολογιζόμενο μεσοσταθμικά σε οποιοδήποτε επιφάνεια εμβαδού 4 cm^2 του σώματος, δίδεται από τον τύπο:

$$\text{Επίπεδο Απορροφώμενης Πυκνότητας Ενέργειας: } 72 \left[0,05 + 0,95 \left(\frac{t}{360} \right)^{0,5} \right], \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} \text{ ή}$$

όπου t είναι η διάρκεια Έκθεσης σε sec.

Για να ληφθεί υπ' όψιν η Έκθεση εστιακής δέσμης για συχνότητες > 30 έως 300 GHz , το επίπεδο Απορροφώμενης Πυκνότητας Ενέργειας το οποίο αντιστοιχεί στον Λειτουργικό Κατώφλι των δυσμενών επιπτώσεων για την υγεία, και υπολογιζόμενο μεσοσταθμικά για επιφάνεια εμβαδού 1 cm^2 του σώματος, δίδεται από τον τύπο:

Επίπεδο απορροφ. Πυκνότητας Ενέργειας: $144 \left[0,025 + 0,975 \left(\frac{t}{360} \right)^{0.5} \right], \frac{kJ}{m^2}$

όπου t είναι η διάρκεια Έκθεσης σε sec.

Ας σημειωθεί ότι για αυτούς τους **Βασικούς Περιορισμούς** για χρονικά σύντομες Εκθέσεις, η Έκθεση από οποιονδήποτε παλμό, ομάδα παλμών ή υποομάδα παλμών σε σειρά, καθώς και από το άθροισμα των εκθέσεων (συμπεριλαμβανομένων των μη παλμικών RF-EMFs), μετρούμενη σε t sec, πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν για την ικανοποίηση αυτού του μαθηματικού τύπου.

Όπως και με τους **Βασικούς Περιορισμούς** της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος, σε αυτό το επίπεδο Έκθεσης εφαρμόζεται συντελεστής μείωσης ίσος με 2 για την επαγγελματική Έκθεση, ώστε να ληφθεί υπ' όψιν η επιστημονική αβεβαιότητα, οι διαφορές στην θερμική φυσιολογία του πληθυσμού, η μεταβλητότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών καθώς και τα επίπεδα φυσικής δραστηριότητας.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα έναν **Βασικό Περιορισμό** για την επαγγελματική Έκθεση, ο οποίος δίδεται από τον τύπο:

Βασικός Περιορισμός Επαγγελματικής Έκθεσης: $36 \left[0,05 + 0,95 \left(\frac{t}{360} \right)^{0.5} \right], \frac{kJ}{m^2}$

όπου t είναι η διάρκεια Έκθεσης σε sec σε οποιαδήποτε τετραγωνική επιφάνεια 4 cm^2 του σώματος.

Για συχνότητες > 30 έως 300 GHz, ένας πρόσθετος **Βασικός Περιορισμός** υπεισέρχεται για την επαγγελματική Έκθεση, ο οποίος δίδεται από τον τύπο:

πρόσθετος **ΒΠ** Επαγγελματικής Έκθεσης: $72 \left[0,025 + 0,975 \left(\frac{t}{360} \right)^{0.5} \right], \frac{kJ}{m^2}$

υπολογιζόμενος μεσοσταθμικά σε οποιαδήποτε τετραγωνική επιφάνεια του σώματος, εμβαδού 1 cm^2 .

Καθώς ο γενικός πληθυσμός δεν αναμένεται να είναι ενήμερος για τις Εκθέσεις και επομένως να είναι σε θέση να μειώσει τον κίνδυνο και λαμβάνοντας δε υπ' όψιν τις μεγαλύτερες διαφορές στην θερμική φυσιολογία του γενικού πληθυσμού, εφαρμόζεται ένας συντελεστής μείωσης ίσος με 10 μειώνοντας τον **Βασικό Περιορισμό** για τον γενικό πληθυσμό σε

$7,2 \left[0,05 + 0,95 \left(\frac{t}{360} \right)^{0.5} \right], \frac{kJ}{m^2}$

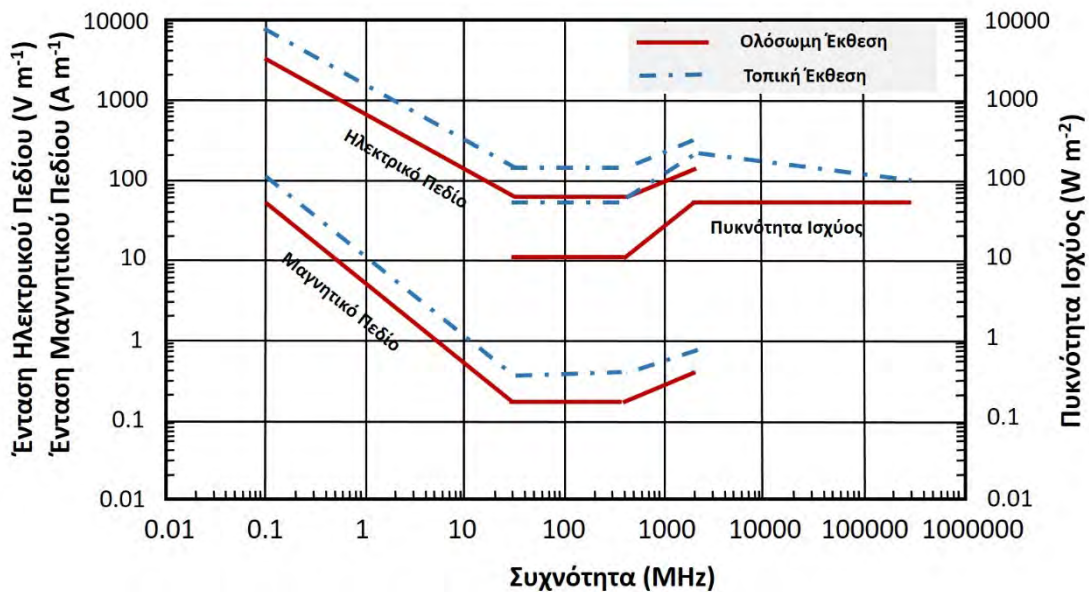
υπολογιζόμενος μεσοσταθμικά σε οποιοδήποτε επιφάνεια του σώματος, εμβαδού 4 cm^2 .

Για συχνότητες > 30 έως 300 GHz, ένας πρόσθετος **Βασικός Περιορισμός** εφαρμόστηκε για τον γενικό πληθυσμό, ο οποίος είναι:

$14,4 \left[0,025 + 0,975 \left(\frac{t}{360} \right)^{0.5} \right], \frac{kJ}{m^2}$

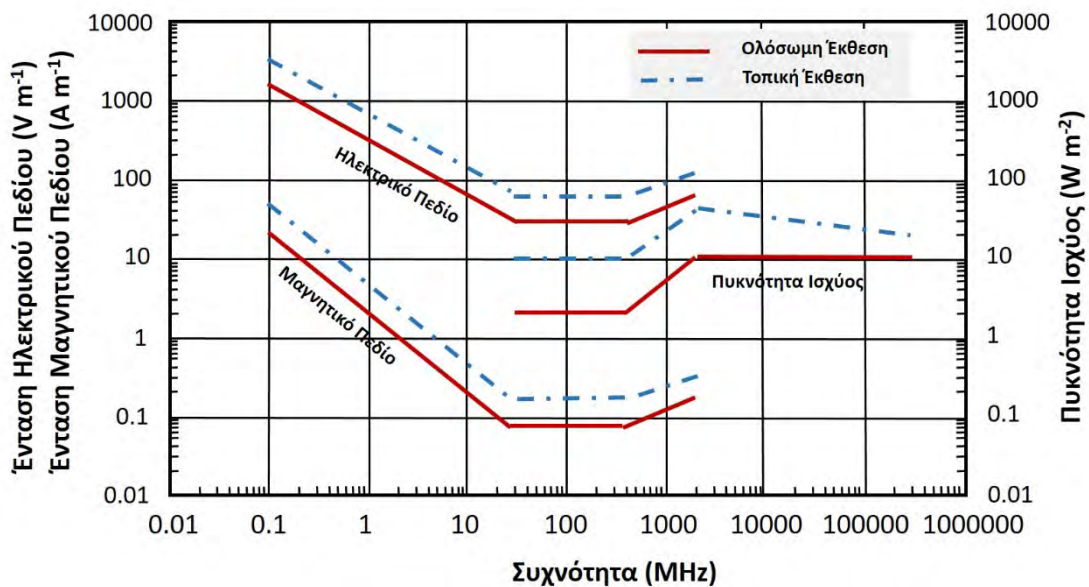
υπολογιζόμενος μεσοσταθμικά σε οποιαδήποτε τετραγωνική επιφάνεια του σώματος, εμβαδού 1 cm^2 .

Επαγγελματική Έκθεση



Εικόνα 1: *Επίπεδα Αναφοράς*, για επαγγελματικές εκθέσεις υπολογιζόμενα ως μέση τιμή για χρονική διάρκεια μεγαλύτερη ή ίση των 6 min, σε πεδία συχνοτήτων 100 kHz έως 300 GHz (μη διαταραγμένες τιμές rms, βλ. Πίνακες 5 και 6 για πλήρεις επεξηγήσεις).

Γενικός Πληθυσμός



Εικόνα 2: *Επίπεδα Αναφοράς*, για εκθέσεις γενικού πληθυσμού, υπολογιζόμενες μεσοσταθμικά για χρονική διάρκεια μεγαλύτερη ή ίση των 6 min, σε πεδία συχνοτήτων 100 kHz έως 300 GHz (μη διαταραγμένες τιμές rms, βλ. Πίνακες 5 και 6 για πλήρεις επεξηγήσεις).

Πίνακες Βασικών Περιορισμών (Basic Restrictions Tables)

Για να υπάρχει συμβατότητα με τους Βασικούς Περιορισμούς, η Έκθεση σε RF-EMF πρέπει να μην υπερβαίνει τους Περιορισμούς για αυτές τις RF-EMF συχνότητες στους πίνακες 2, 3 και 4. Συνεπώς, για κάθε δεδομένη συχνότητα RF-EMF, οι Περιορισμοί για το ολόσωμο SAR, το τοπικό SAR, το S_{ab} , το U_{ab} καθώς και το επαγόμενο E-πεδίο⁶ θα πρέπει να πληρούνται ταυτόχρονα.

Επίπεδα Αναφοράς (Reference levels)

Τα Επίπεδα Αναφοράς έχουν προέλθει από ένα συνδυασμό υπολογιστικών και πειραματικών μελετών, για να παρέχουν ένα μέσο απόδειξης συμμόρφωσης, χρησιμοποιώντας φυσικά μεγέθη τα οποία μπορούν να αξιολογηθούν περισσότερο εύκολα σε σχέση με τους Βασικούς Περιορισμούς.

Αυτά τα φυσικά μεγέθη θα παρέχουν ωστόσο, ένα ισοδύναμο επίπεδο προστασίας σε σχέση με τους Βασικούς Περιορισμούς, για τις χειρότερες περιπτώσεις σεναρίων Έκθεσης (worst-case exposure scenarios).

Ωστόσο, καθώς η εξαγωγή των Επιπέδων Αναφοράς βασίζεται σε συντηρητικές παραδοχές, στα περισσότερα σενάρια Έκθεσης, τα Επίπεδα Αναφοράς θα είναι περισσότερο συντηρητικά από τους αντίστοιχους Βασικούς Περιορισμούς. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τα Επίπεδα Αναφοράς παρέχονται στο Παράρτημα Α, στην ενότητα “Εξαγωγή Επιπέδων Αναφοράς”.

Τα Επίπεδα Αναφοράς παρέχονται στους Πίνακες 5-9. Οι εικόνες 1 και 2 παρέχουν γραφικές αναπαραστάσεις των τιμών των Επιπέδων Αναφοράς της Έκθεσης του γενικού πληθυσμού και της επαγγελματικής Έκθεσης, για εκτεταμένες χρονικές περιόδους Έκθεσης (≥ 6 min).

- ✓ Στον πίνακα 5 υπολογίζονται μεσοσταθμικά τα Επίπεδα Αναφοράς για διάστημα 30 min και αντιστοιχούν στους μέσους Βασικούς Περιορισμούς ολόκληρου του σώματος,
- ✓ ο πίνακας 6 (μεσοσταθμικές τιμές για χρονικό διάστημα 6 min),
- ✓ ο πίνακας 7 (ολοκλήρωση για χρονικά διαστήματα μεταξύ > 0 και < 6 min) και
- ✓ ο πίνακας 8 (μετρήσεις στιγμιαίων κορυφών Έντασης πεδίου)

σχετίζονται ο καθένας με τους Βασικούς Περιορισμούς μεσοσταθμικά, σε μικρότερες περιοχές του σώματος.

Πρόσθετα Επίπεδα Αναφοράς για τα ρεύματα άκρων (limb current) έχουν οριστεί για να λαμβάνουν υπ’ όψιν τις επιπτώσεις της γείωσης κοντά σε συχνότητες συντονισμού του ανθρώπινου σώματος (Dimbylow 2001), τα οποία διαφορετικά θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε Επίπεδα Αναφοράς τα οποία θα υποτιμούν τις εκθέσεις εντός του ιστού σε ορισμένες συχνότητες RF-EMF (υπολογιζόμενα μεσοσταθμικά άνω των 6

⁶ Σημειώνεται ότι αν και ο όρος “εσωτερικός - internal” χρησιμοποιείται στην θέση του “επαγόμενος - induced” του ICNIRP (2010), επιλέγεται εδώ ο όρος “επαγόμενος - induced” για λόγους συμβατότητας με το παρόν κείμενο.

min, Πίνακας 9). Τα **Επίπεδα Αναφοράς** των ρευμάτων των άκρων είναι συναφή μόνο με σενάρια Έκθεσης όπου ένα άτομο δεν είναι ηλεκτρικά απομονωμένο.

Οι Πίνακες 5-9 καθορίζουν τους μεσοσταθμικούς και τους χρόνους ολοκλήρωσης των σχετικών φυσικών ποσοτήτων Έκθεσης με σκοπό να προσδιορίσουν εάν τα μετρούμενα Επίπεδα Έκθεσης συμμορφώνονται με τις Κατευθυντήριες Οδηγίες. Αυτοί οι χρόνοι δεν είναι απαραίτητα οι ίδιοι με τους χρόνους μέτρησης οι οποίοι απαιτούνται για την εκτίμηση της Έντασης του πεδίου ή άλλων φυσικών μεγεθών Έκθεσης.

Εξαρτώμενοι από δεδομένα φορέων τεχνικών προτύπων, οι χρόνοι μέτρησης οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παροχή κατάλληλης εκτίμησης των φυσικών μεγεθών Έκθεσης μπορεί να είναι μικρότεροι από τα διαστήματα τα οποία καθορίζονται σε αυτούς τους πίνακες.

Μία σημαντική εκτίμηση για την εφαρμογή των **Επιπέδων Αναφοράς**, είναι σε ποιο βαθμό τα φυσικά μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης των **Επιπέδων Αναφοράς** (δηλ., E_{inc} , H_{inc} , S_{inc} , U_{inc} , S_{eq} , U_{eq} , I), προβλέπουν επαρκώς τα φυσικά μεγέθη τα οποία χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης με τους **Βασικούς Περιορισμούς**. Σε περιπτώσεις όπου τα φυσικά μεγέθη των **Επιπέδων Αναφοράς** προσδιορίζονται με μεγαλύτερη αβεβαιότητα, τα **Επίπεδα Αναφοράς** πρέπει να εφαρμόζονται περισσότερο συντηρητικά.

Για τους σκοπούς των Κατευθυντηρίων Οδηγιών, ο βαθμός καταλληλότητας εξαρτάται σημαντικά από το εάν τα εξωτερικά RF-EMF μπορούν να θεωρηθούν ότι ευρίσκονται εντός του μακρινού πεδίου (far-field zone), του ενδιάμεσου κοντινού πεδίου ακτινοβολίας (radiative or Fresnel near-field zone) ή της αντιδραστικής περιοχής του κοντινού πεδίου (reactive near-field zone).

Κατά συνέπεια, στις περισσότερες περιπτώσεις, έχουν καθοριστεί διαφορετικοί κανόνες αξιολόγησης των **Επιπέδων Αναφοράς** για τα RF-EMF ως συνάρτηση της ζώνης στην οποία ευρίσκονται, μακρινού πεδίου, πεδίου Fresnel ή αντιδραστική περιοχή του κοντινού πεδίου.

Μια δυσκολία με αυτήν την προσέγγιση είναι ότι και άλλοι παράγοντες μπορούν επίσης να επηρεάσουν την καταλληλότητα της εκτίμησης των φυσικών μεγεθών των **Βασικών Περιορισμών** από τα φυσικά μεγέθη των **Επιπέδων Αναφοράς**.

Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν την συχνότητα RF-EMF, τις φυσικές διαστάσεις της πηγής, την απόστασή της από το σημείο εκτίμησης της ΗΜ ακτινοβολίας, καθώς και τον βαθμό στον οποίο τα RF-EMF διαφοροποιούνται στον χώρο τον οποίο καταλαμβάνει ένα άτομο.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τέτοιου είδους πηγές αβεβαιότητας, οι Κατευθυντήριες Οδηγίες προτείνουν περισσότερο συντηρητικούς περιορισμούς / κανόνες για την Έκθεση στο αντιδραστικό και στο πεδίο Fresnel σε σχέση με το μακρινό πεδίο. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει απλή οριοθέτηση των ζωνών, του μακρινού πεδίου, του πεδίου Fresnel και του αντιδραστικού πεδίου, η οποία να είναι κατάλληλη για να διασφαλιστεί ότι τα **Επίπεδα Αναφοράς** θα αντιστοιχούν επαρκώς στους **Βασικούς Περιορισμούς**.

Πίνακας 5: Επίπεδα Αναφοράς για μεσοσταθμική Έκθεση ολόκληρου του σώματος, για χρονική διάρκεια 30 min, για ηλεκτρομαγνητικά πεδία συχνοτήτων 100 kHz - 300 GHz (μη-διαταραγμένες τιμές rms)^α

Σενάριο Έκθεσης	Εύρος Συχνοτήτων	E_{inc} (V.m ⁻¹)	H_{inc} (A.m ⁻¹)	S_{inc} (W.m ⁻²)
Επαγγελματική	0.1 - 30 MHz	$660/f_M^{0.7}$	$4.9/f_M$	NA
	> 30 - 400 MHz	61	0.16	10
	> 400 - 2000 MHz	$3f_M^{0.5}$	$0.008f_M^{0.5}$	$f_M/40$
	> 2 - 300 GHz	NA	NA	50
Γενικός Πληθυσμός	0.1 - 30 MHz	$300/f_M^{0.7}$	$2.2/f_M$	NA
	> 30 - 400 MHz	27.7	0.073	2
	> 400 - 2000 MHz	$1.375f_M^{0.5}$	$0.0037f_M^{0.5}$	$f_M/200$
	> 2 - 300 GHz	NA	NA	10

^α Σημείωση

0. Προσπίπτουσα Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου – Incident Electric Field Strength E_{inc} , Προσπίπτουσα Ισχύς Μαγνητικού Πεδίου – Incident Magnetic Field Strength H_{inc} , Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος - Incident Power Density S_{inc}

1. “NA” σημαίνει “μη εφαρμόσιμο” και δεν απαιτείται να λαμβάνεται υπ’ όψιν κατά τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης.
2. Η συχνότητα f_M υπολογίζεται σε MHz.
3. Για τα S_{inc} , E_{inc} και H_{inc} η τιμή τους λαμβάνεται μεσοσταθμικά στον συνολικό χώρο τον οποίο καταλαμβάνει το σώμα, σε χρονικό διάστημα 30 min. Οι μεσοσταθμικές χωρικές και χρονικές τιμές για κάθε μία από τις φυσικές ποσότητες E_{inc} και H_{inc} θα πρέπει να λαμβάνονται, υπολογίζοντας μεσοσταθμικά τις σχετικές τετραγωνικές τιμές (βλ. εξίσωση 8 στο Παράρτημα Α).
4. Για συχνότητες από 100 kHz έως 30 MHz, ανεξάρτητα από τις διαφορές μεταξύ των ζωνών μακρινού / κοντινού πεδίου, η συμμόρφωση ικανοποιείται όταν καμία από τις δύο τιμές E_{inc} και H_{inc} δεν υπερβαίνει τις ως άνω τιμές των **Επιπέδων Αναφοράς**.
5. Για συχνότητες > 30 MHz έως 2 GHz:
 - (α) εντός της ζώνης μακρινού πεδίου: η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν το φυσικό μέγεθος S_{inc} , είτε E_{inc} είτε H_{inc} , δεν υπερβαίνει τις ως άνω τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς** (απαιτείται μόνο ένα). Το φυσικό μέγεθος S_{eq} δ να αντικαταστήσει την S_{inc} .
 - (β) εντός της ζώνης Fresnel, η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν είτε το φυσικό μέγεθος S_{inc} , είτε και τα δύο φυσικά μεγέθη E_{inc} και H_{inc} , δεν υπερβαίνουν τις ως άνω τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς** και
 - (γ) εντός της αντιδραστικής ζώνης κοντινού πεδίου: η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν και τα δύο φυσικά μεγέθη E_{inc} και H_{inc} δεν υπερβαίνουν τις ως άνω τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς**. Το S_{inc} δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δειχθεί η συμμόρφωση και γι’ αυτό πρέπει να αξιολογούνται οι **Βασικοί Περιορισμοί**.
6. Για συχνότητες > 2 GHz έως 300 GHz:

- (α) εντός της ζώνης μακρινού πεδίου: η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν το φυσικό μέγεθος S_{inc} δεν υπερβαίνει τις ως άνω τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς**. Η S_{eq} μπορεί σε αυτήν την περίπτωση να αντικαταστήσει την S_{inc} .
- (β) εντός της ζώνης *Fresnel*, η συμμόρφωση καλύπτεται εάν το φυσικό μέγεθος S_{inc} δεν υπερβαίνει τις ως άνω τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς** και
- (γ) εντός της αντιδραστικής ζώνης κοντινού πεδίου, τα **Επίπεδα Αναφοράς** δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης και επομένως πρέπει να αξιολογούνται οι **Βασικοί Περιορισμοί**.

Κατά συνέπεια, παρόλο που ένας ορισμός αυτών των ζωνών παρέχεται στο παράρτημα Α στην ενότητα “Γενικές Εκτιμήσεις για τα **Επίπεδα Αναφοράς**”, αυτός προορίζεται μόνο ως οδηγός. Για την βελτίωση των διαδικασιών αξιολόγησης των **Επιπέδων Αναφοράς**, θα πρέπει να αντλούνται δεδομένα από φορείς τεχνικών προτύπων, σχεδιασμένα καθορίζουν εξωτερικές εκθέσεις για κάθε τύπο πηγής RF-EMF, ώστε να ικανοποιούν επαρκώς οι **Βασικοί Περιορισμοί**.

Σχετικά με τις διακρίσεις ζώνης κοντινού και μακρινού πεδίου, για ορισμένες συνθήκες Έκθεσης, οι λιγότερο αυστηρές μεταβλητές:

- ✓ “Προσπίπτουσα Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος Επιπέδου Κύματος - Plane Wave Equivalent Incident Power Density (S_{eq})” και
- ✓ “Προσπίπτουσα Ισοδύναμη Πυκνότητα Ενέργειας Επιπέδου Κύματος - Plane Wave Equivalent Incident Energy Density (U_{eq})”

δύνανται να χρησιμοποιούνται στην θέση των:

- ✓ “Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ισχύος - Incident Power Density (S_{inc})” και
- ✓ “Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ενέργειας - Incident Energy Density (U_{inc})”, αντίστοιχα,

όπου αυτό είναι επιτρεπτό, προσδιορίζεται στην συνέχεια.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι *Προσπίπτουσες Ισοδύναμες Πυκνότητες Ενέργειας Επιπέδου Κύματος - Plane Wave Equivalent Incident Energy Densities (U_{eq})* πρέπει να υπολογίζονται μεσοσταθμικά με τον ίδιο τρόπο όπως περιγράφεται στους Πίνακες 5-7 για τις αντίστοιχες *Προσπίπτουσες Πυκνότητες Ισχύος - Incident Power Densities (S_{inc})*.

Σε όρους ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στην ζώνη μακρινού πεδίου, ισχύουν οι ακόλουθοι κανόνες:

- ✓ Για συχνότητες RF-EMF από > 30 MHz έως 2 GHz, η ICNIRP απαιτεί να αποδεικνύεται συμμόρφωση για συγκεκριμένο **Επίπεδο Αναφοράς** για ένα μόνο εκ των: Ηλεκτρικό Πεδίο (E-field), Μαγνητικό Πεδίο (H-field) ή Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}).
- ✓ Επιπλέον, το φυσικό μέγεθος “Προσπίπτουσα Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος Επιπέδου Κύματος - Plane Wave Equivalent Incident Power Density (S_{eq})” μπορεί να αντικαταστήσει το φυσικό μέγεθος “Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος - Incident Power Density S_{inc} ”.
- ✓ Ομοίως για συχνότητες RF-EMF > 400 MHz, όπου οι Περιορισμοί καθορίζονται σε όρους “Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ενέργειας - Incident Energy Density (U_{inc})”,

αυτή μπορεί να αντικαταστήσει την “Προσπίπτουσα Ισοδύναμη Πυκνότητα Ενέργειας Επιπέδου Κύματος - Plane-Wave Equivalent Incident Energy Density (U_{eq})”.

Συχνότητες RF-EMF από 100 kHz έως 30 MHz επεξεργάζονται όπως ακριβώς στην ζώνη κοντινού πεδίου, βλ. επόμενη παράγραφο.

Σε όρους ηλεκτρομαγνητικών πεδίων στις ζώνες κοντινού πεδίου, ισχύουν οι ακόλουθοι κανόνες:

- ✓ Για συχνότητες RF-EMF από 100 kHz έως 30 MHz, οι σχετικές προσωπικές εκθέσεις από τις παρούσες πηγές RF-EMF ευρίσκονται τυπικά εντός της ζώνης του κοντινού πεδίου.
- ✓ Οι παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες θεωρούν όλες τις εκθέσεις εντός αυτού του εύρους συχνοτήτων ως Εκθέσεις κοντινού πεδίου και απαιτείται ταυτόχρονη συμμόρφωση με τις τιμές των **Επιπέδων Αναφοράς** του Ηλεκτρικού Πεδίου και του Μαγνητικού Πεδίου, ώστε να υπάρχει συμμόρφωση με τα **Επίπεδα Αναφοράς**.
- ✓ Για συχνότητες RF-EMF από > 30 MHz έως 2 GHz, η προσωπική Έκθεση είτε εντός της ζώνης Fresnel, είτε εντός της αντιδραστικής ζώνης του κοντινού πεδίου αντιμετωπίζεται ως σύμμορφη, εάν και οι δύο Εντάσεις Ηλεκτρικού και Μαγνητικού Πεδίου είναι κάτω από τις τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς** όπως περιγράφονται στους πίνακες.
- ✓ Για συχνότητες > 30 MHz έως 300 GHz, η προσωπική Έκθεση εντός της ζώνης Fresnel, αντιμετωπίζεται ως συμμορφώμενη εάν η “Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος - Incident Power Density (S_{inc})” (ή, κατά περίπτωση, η “Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ενέργειας - Incident Energy Density (U_{inc})” είναι κάτω από την τιμή **Επιπέδου Αναφοράς**.
- ✓ Για Έκθεση εντός του εύρους των συχνοτήτων > 2 έως 300 GHz, στο αντιδραστικό κοντινό πεδίο, τα φυσικά μεγέθη τα οποία εφαρμόζονται για τις τιμές **Επιπέδου Αναφοράς** αντιμετωπίζονται ως ακατάλληλα για να διασφαλιστεί η συμμόρφωση με τους **Βασικούς Περιορισμούς**. Σε τέτοιες περιπτώσεις, πρέπει να αξιολογείται η συμμόρφωση με τους **Βασικούς Περιορισμούς**.

Η ICNIRP γνωρίζει ότι για ορισμένα σενάρια Έκθεσης, τα RF-EMF στα **Επίπεδα Αναφοράς** (τα οποία καθορίζονται στην συνέχεια), θα μπορούσαν ενδεχομένως να οδηγήσουν σε Έκθεση η οποία να υπερβαίνει τους **Βασικούς Περιορισμούς**.

Όπου εντοπίστηκαν τέτοια σενάρια, η ICNIRP καθόρισε εάν τα **Επίπεδα Αναφοράς** έπρεπε να μειωθούν, λαμβάνοντας υπ’ όψιν το επίπεδο της διαφοράς μεταξύ της προκύπτουσας Έκθεσης ιστού και του αντίστοιχου **Βασικού Περιορισμού** (συμπεριλαμβανομένης της σύγκρισης με την σχετιζόμενη δοσιμετρική αβεβαιότητα) και εάν η παραβίαση ήταν πιθανόν να επηρέαζε αρνητικά την υγεία (συμπεριλαμβανοντας την θεώρηση του βαθμού συντηρητικότητας των σχετικών **Βασικών Περιορισμών**).

Όπου η διαφορά ήταν μικρή, και όπου δεν θα επηρέαζε αρνητικά την υγεία, τα **Επίπεδα Αναφοράς** διατηρήθηκαν, αν και μπορούσαν να οδηγήσουν δυνητικά σε εκθέσεις οι οποίες θα υπερέβαιναν τους **Βασικούς Περιορισμούς**.

Πίνακας 6: **Επίπεδα Αναφοράς** για τοπική Έκθεση, υπολογιζόμενη μεσοσταθμικά για χρόνο 6 min, για ηλεκτρομαγνητικά πεδία συχνοτήτων 100 kHz - 300 GHz (μη διαταραγμένες τιμές rms) ^a

Σενάριο Έκθεσης	Εύρος Συχνοτήτων	E_{inc} (V m ⁻¹)	H_{inc} (A m ⁻¹)	S_{inc} (W*m ⁻²)
Επαγγελματική	0,1 - 30 MHz	$1504/f_M^{0,7}$	$10,8/f_M$	NA
	> 30 - 400 MHz	139	0,36	50
	> 400 - 2000 MHz	$10,58f_M^{0,43}$	$0,0274f_M^{0,43}$	$0,29f_M^{0,86}$
	> 2 - 6 GHz	NA	NA	200
	> 6 - < 300 GHz	NA	NA	$275/f_G^{0,177}$
	300 GHz	NA	NA	100
Γενικός Πληθυσμός	0,1 - 30 MHz	$671/f_M^{0,7}$	$4,9/f_M$	NA
	> 30 - 400 MHz	62	0,163	10
	> 400 - 2000 MHz	$4.72f_M^{0,43}$	$0.0123f_M^{0,43}$	$0,058f_M^{0,86}$
	> 2 - 6 GHz	NA	NA	40
	6 < f < 300 GHz	NA	NA	$55/f_M^{0,177}$
	300 GHz	NA	NA	20

^a Σημείωση:

1. Το “NA” σημαίνει “μη εφαρμόσιμο” και δεν απαιτείται να λαμβάνεται υπ’ όψιν κατά τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης.
2. Η συχνότητα f_M υπολογίζεται σε MHz και η f_G σε GHz.
3. Τα φυσικά μεγέθη S_{inc} , E_{inc} και H_{inc} θα πρέπει να υπολογίζονται μεσοσταθμικά για χρόνο 6 min, όπου ο χωρική μεσοσταθμική τιμή καθορίζεται στις Σημειώσεις 6-7, στον σχετικό προβαλλόμενο χώρο του σώματος. Η χρονική και η χωρική μεσοσταθμική τιμή για κάθε ένα από τα μεγέθη E_{inc} και H_{inc} θα πρέπει να λαμβάνεται μεσοσταθμικά επί των σχετικών τετραγωνικών τιμών (βλ. Εξίσωση 8 στο Παράρτημα Α).
4. Για συχνότητες από 100 kHz έως 30 MHz, ανεξάρτητα από την ζώνη μακρινού ή κοντινού πεδίου, η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν καμία από τις μέγιστες χωρικές τιμές των ποσοτήτων E_{inc} ή H_{inc} , στον προβαλλόμενο χώρο ολόκληρου του σώματος, δεν υπερβαίνει τις ως άνω τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς**.
5. Για συχνότητες > 30 MHz έως 6 GHz ισχύουν τα ακόλουθα:
 - (α) εντός της ζώνης μακρινού πεδίου, η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν μία από τις κορυφές των χωρικών ποσοτήτων S_{inc} , E_{inc} ή H_{inc} , στον προβαλλόμενο χώρο ολόκληρου του σώματος, δεν υπερβαίνει τις ως άνω τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς** (απαιτείται μόνο μία από αυτές). Το S_{eq} μπορεί να αντικαταστήσει το S_{inc} .

- (β) εντός της ζώνης *Fresnel*, η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν, είτε η μέγιστη χωρική τιμή του S_{inc} , είτε και οι δύο μέγιστες χωρικές τιμές των E_{inc} και H_{inc} , στον προβαλλόμενο χώρο ολόκληρου του σώματος, δεν υπερβαίνουν τις ως άνω τιμές **Επιπέδου Αναφοράς** και
- (γ) εντός της αντιδραστικής ζώνης του κοντινού πεδίου: η συμμόρφωση καλύπτεται εάν και τα δύο φυσικά μεγέθη E_{inc} και H_{inc} δεν υπερβαίνουν τις ως άνω τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς**. Το φυσικό μέγεθος S_{inc} δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποδείξει την συμμόρφωση. Για συχνότητες μεγαλύτερες των 2 GHz, τα **Επίπεδα Αναφοράς** δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης και, επομένως, πρέπει να αξιολογηθούν οι **Βασικοί Περιορισμοί**.
6. Για συχνότητες > 6 GHz έως 300 GHz:
- (α) εντός της ζώνης μακρινού πεδίου, η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν το φυσικό μέγεθος S_{inc} , υπολογιζόμενο μεσοσταθμικά σε προβαλλόμενο χώρο τετραγωνικής επιφάνειας 4 cm², δεν υπερβαίνει τις ως άνω τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς**. Το S_{eq} μπορεί να αντικαταστήσει το S_{inc} .
- (β) εντός της ζώνης *Fresnel*, η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν το S_{inc} , υπολογιζόμενο μεσοσταθμικά σε προβαλλόμενο χώρο τετραγωνικής επιφάνειας 4 cm², δεν υπερβαίνει τις ως άνω τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς** και
- (γ) εντός της αντιδραστικής ζώνης κοντινού πεδίου, τα **Επίπεδα Αναφοράς** δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης και επομένως πρέπει να αξιολογηθούν οι **Βασικοί Περιορισμοί**.
7. Για συχνότητες > 30 GHz έως 300 GHz, η Έκθεση υπολογιζόμενη μεσοσταθμικά σε έναν προβαλλόμενο χώρο τετραγωνικής επιφάνειας 1 cm² δεν πρέπει να υπερβαίνει το διπλάσιο από τους αντίστοιχους περιορισμούς οι οποίοι επιβάλλονται για επιφάνεια 4 cm².

Αυτή η κατάσταση έχει δειχθεί ότι προκύπτει σε όρους **Επιπέδων Αναφοράς** τα οποία αντιστοιχούν στους **Βασικούς Περιορισμούς** του Ολόσωμου Μέσου **SAR**, οι οποίοι, για το εύρος συχνοτήτων όπου πραγματοποιείται ο συντονισμός του σώματος (έως 100 MHz), και από 1 έως 4 GHz, δυνητικά μπορούν να οδηγήσουν το Ολόσωμο Μέσο **SAR**, στην υπέρβαση των **Βασικών Περιορισμών** (ICNIRP 2009).

Το σενάριο Έκθεσης, όπου αυτό είναι δυνατόν ενδεχομένως να συμβεί, είναι πολύ εξειδικευμένο, καθώς απαιτεί την Έκθεση ενός ανθρώπου μικρού αναστήματος (όπως ένα παιδί 3 ετών), το οποίο να ευρίσκεται σε θέση έκτασης (π.χ., ακίνητο και ευθυτενές με τα άνω άκρα υψηλότερα από το επίπεδο της κεφαλής) για τουλάχιστον 30 min, ενώ υπόκειται σε Έκθεση RF-EMF επίπεδου κύματος, συχνότητας εντός του εύρους το οποίο αναφέρθηκε προηγουμένως, προσπίπτοντος στο παιδί από την πρόσθια όψη προς την οπίσθια.

Η προκύπτουσα αύξηση του **SAR** είναι μικρή σε σχέση με τον **Βασικό Περιορισμό** (15-40%) και είναι παρόμοια ή μικρότερη από την μέση αβεβαιότητα μέτρησης του ολόσωμου **SAR** (Flintoft et al. 2014; Nagaoka και Watanabe 2019). Σημειώνεται ότι υπάρχουν πολλά επίπεδα συντηρητικότητας για την εξαγωγή των ίδιων των **Βασικών Περιορισμών**, κυρίως για να μην υπάρχουν επιπτώσεις στην υγεία.

Αυτό το τελευταίο σημείο είναι σημαντικό, καθώς ο **Βασικός Περιορισμός**, στον οποίο αναφέρεται, ορίστηκε για προστασία από τις αυξήσεις της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος, υψηλότερες από 1°C.

Επιπλέον, λόγω του μικρού μεγέθους του ατόμου σε αυτό το υποθετικό σενάριο Έκθεσης, το άτομο θα είναι σε θέση να διαχύσει ευκολότερα την θερμότητα στο περιβάλλον σε σχέση με ένα μεγαλύτερο άτομο, λόγω της αυξημένης αναλογίας

επιφάνειας προς την μάζα του σώματος (“surface area to mass ratio”) (Hirata et al. 2013).

Στους ιστούς ενός ατόμου μικρού αναστήματος, το καθαρό αποτέλεσμα αυτού του “αυξημένου Ολόσωμου Μέσου SAR” αλλά και της “αυξημένης απώλειας θερμότητας”, θα προκαλούσε μικρότερη αύξηση θερμοκρασίας σε σχέση με την αντίστοιχη αύξηση, η οποία θα προέκυπτε σε ένα άτομο με μεγαλύτερο ανάστημα και για το οποίο δεν θα υπήρχε υπέρβαση του Βασικού Περιορισμού. Επίσης και στις δύο περιπτώσεις θα προέκυπτε αύξηση θερμοκρασίας, σημαντικά μικρότερη από 1°C. Κατά συνέπεια, η ICNIRP δεν έχει τροποποιήσει τα Επίπεδα Αναφοράς με σκοπό να λάβει υπ’ όψιν την κατάσταση αυτή.

Πίνακας 7: Επίπεδα Αναφοράς για τοπική Έκθεση, για χρονικά διαστήματα $0 < t < 6$ min και για ηλεκτρομαγνητικά πεδία συχνοτήτων 100 kHz - 300 GHz (μη διαταραγμένες τιμές rms)^α

Σενάριο Έκθεσης	Εύρος Συχνοτήτων	Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ενέργειας U_{inc} (kJ m ⁻²)
Επαγγελματική	100 kHz - 400 MHz	NA
	> 400 - 2000 MHz	$0.29 f_M^{0.86} * 0.36 [0.05 + 0.95 (\frac{t}{360})^{0.5}]$
	> 2 - 6 GHz	$200 * 0.36 [0.05 + 0.95 (\frac{t}{360})^{0.5}]$
	$6 < f < 300$ GHz	$275 / f_G^{0.177} * 0.36 [0.05 + 0.95 (\frac{t}{360})^{0.5}]$
	300 GHz	$100 * 0.36 [0.05 + 0.95 (\frac{t}{360})^{0.5}]$
Γενικός Πληθυσμός	100 kHz - 400 MHz	NA
	> 400 - 2000 MHz	$0.058 f_M^{0.86} * 0.36 [0.05 + 0.95 (\frac{t}{360})^{0.5}]$
	> 2 - 6 GHz	$40 * 0.36 [0.05 + 0.95 (\frac{t}{360})^{0.5}]$
	$6 < f < 300$ GHz	$55 / f_G^{0.177} * 0.36 [0.05 + 0.95 (\frac{t}{360})^{0.5}]$
	300 GHz	$20 * 0.36 [0.05 + 0.95 (\frac{t}{360})^{0.5}]$

^α Σημείωση:

1. “NA” σημαίνει “μη εφαρμόσιμο” και δεν απαιτείται να λαμβάνεται υπ’ όψιν κατά τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης.

2. Η συχνότητα f_M υπολογίζεται σε MHz και η f_G σε GHz. t ορίζεται ως το χρονικό διάστημα ώστε αυτή η έκθεση από κάθε παλμό, ομάδα παλμών ή υποομάδα παλμών σε σειρά, καθώς και από το άθροισμα των εκθέσεων (συμπεριλαμβανομένων μη-παλμικών RF-EMF), αποδιδόμενη σε t sec, να μην υπερβαίνει τις τιμές **Επιπέδων Αναφοράς**.
3. Το U_{inc} πρέπει να υπολογίζεται για χρόνο t , με τον χωρικό μέσον όρο (spatial averaging) να καθορίζεται στις σημειώσεις 5 - 7, στο προβαλλόμενο χώρο του σώματος.
4. Για συχνότητες από 100 kHz έως 400 MHz και για $0 < t < 6$ min δεν απαιτούνται Περιορισμοί και επομένως δεν έχουν οριστεί **Επίπεδα Αναφοράς**.
5. Για συχνότητες > 400 MHz έως 6 GHz:
 - (α) εντός της ζώνης του μακρινού πεδίου: η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν η μέγιστη χωρική συνιστώσα U_{inc} , άνω του προβαλλόμενου χώρου ολόκληρου του σώματος, δεν υπερβαίνει τις ως άνω τιμές **Επιπέδου Αναφοράς**. Το U_{eq} μπορεί να αντικαταστήσει το U_{inc} .
 - (β) εντός της ζώνης Fresnel: η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν η μέγιστη χωρική συνιστώσα U_{inc} , επί του προβαλλόμενου χώρου ολόκληρου του σώματος, δεν υπερβαίνει τις ως άνω τιμές **Επιπέδου Αναφοράς** και
 - (γ) εντός της αντιδραστικής ζώνης του κοντινού πεδίου: τα **Επίπεδα Αναφοράς** δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης και επομένως πρέπει να αξιολογηθούν οι **Βασικοί Περιορισμοί**.
6. Για συχνότητες > 6 GHz έως 300GHz:
 - (α) εντός της ζώνης του μακρινού πεδίου ή της ζώνης Fresnel: η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν η τιμή του μεγέθους U_{inc} , υπολογιζόμενη μεσοσταθμικά, σε έναν προβαλλόμενο χώρο επιφάνειας σώματος 4 cm^2 , δεν υπερβαίνει τις ως άνω τιμές **Επιπέδου Αναφοράς**;
 - (β) εντός της αντιδραστικής ζώνης κοντινού πεδίου: τα **Επίπεδα Αναφοράς** δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης και επομένως πρέπει να αξιολογηθούν οι **Βασικοί Περιορισμοί**.
7. Για συχνότητες > 30 GHz έως 300 GHz: η Έκθεση μεσοσταθμικά σε προβαλλόμενη τετραγωνική επιφάνεια σώματος 1 cm^2 δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα

$$275/f_G^{0.177} * 0.72[0.025 + 0.975(\frac{t}{360})^{0.5}] \text{ kJ.m}^{-2}$$
 για επαγγελματική Έκθεση και

$$55/f_G^{0.177} * 0.72[0.025 + 0.975(\frac{t}{360})^{0.5}] \text{ kJ.m}^{-2}$$
 για Έκθεση γενικού πληθυσμού.

Ταυτόχρονη Έκθεση Πεδίων Πολλαπλών Συχνότητων

Είναι σημαντικό να καθοριστεί εάν, σε καταστάσεις ταυτόχρονης Έκθεσης σε πεδία διαφορετικών συχνοτήτων, αυτές οι Εκθέσεις είναι προσθετικές ως προς τα τελικά αποτελέσματα.

Η αθροιστικότητα θα πρέπει να εξετάζεται χωριστά για τις επιδράσεις της θερμικής και της ηλεκτρικής διέγερσης και οι περιορισμοί να τίθενται μετά τον υπολογισμό αυτού του αθροίσματος. Οι παρακάτω τύποι ισχύουν για συχνότητες σχετικές με καθημερινές καταστάσεις Έκθεσης. Καθώς οι παρακάτω τύποι αθροιστικών **Επιπέδων Αναφοράς** προϋποθέτουν τις χειρότερες συνθήκες μεταξύ των πεδίων από πολλές πηγές, οι τυπικές καταστάσεις Έκθεσης μπορεί στην πράξη να οδηγήσουν σε χαμηλότερα επίπεδα Έκθεσης, σε σχέση με τα αντίστοιχα τα οποία υποδεικνύονται από τους τύπους για τα **Επίπεδα Αναφοράς**.

Σημειώνονται επίσης τα εξής. Σε όρους **Επιπέδων Αναφοράς**, θα πρέπει να αξιολογείται ο μεγαλύτερος λόγος των: Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E , Ένταση

μαγνητικού πεδίου H , Πυκνότητα Ισχύος προς τα αντίστοιχα **Επίπεδα Αναφοράς**, για να ικανοποιείται η συμμόρφωση.

Τα **Επίπεδα Αναφοράς** ορίζονται σε όρους εξωτερικών φυσικών μεγεθών τα οποία αντιστοιχούν, σε όρους φυσικών μεγεθών για συγκεκριμένες συχνότητες. Για παράδειγμα, οι Εντάσεις των πεδίων (E_{inc} & H_{inc}) χρησιμοποιούνται για συχνότητες < 30 MHz, ενώ οι Εντάσεις των πεδίων και η “ Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος – Incident Power Density S_{inc} ” επιλέγονται για συχνότητες από 30 MHz έως 2 GHz. Όταν η Έκθεση περιλαμβάνει συνιστώσες της συχνότητας κάτω και άνω του μεταβατικού διαστήματος (transition), θα πρέπει να χρησιμοποιείται η προσθετικότητα για να ληφθεί υπ’ όψιν αυτή η περίπτωση.

Η ίδια αρχή ισχύει και για τους **Βασικούς Περιορισμούς**. Οι τιμές πεδίου οι οποίες εισάγονται στις παρακάτω εξισώσεις πρέπει να εξάγονται χρησιμοποιώντας τους ίδιους χωρικούς και χρονικούς περιορισμούς οι οποίοι αναφέρονται στους πίνακες **Βασικών Περιορισμών** και **Επιπέδων Αναφοράς**.

Οι εξισώσεις άθροισης για τους **Βασικούς Περιορισμούς** και τα **Επίπεδα Αναφοράς** παρουσιάζονται ξεχωριστά στην συνέχεια. Ωστόσο, για πρακτικούς σκοπούς συμμόρφωσης, οι αξιολογήσεις με την βοήθεια του **Βασικού Περιορισμού** και του **Επιπέδου Αναφοράς** μπορούν να συνδυαστούν. Για παράδειγμα, ο δεύτερος όρος στην εξίσωση (2) μπορεί να αντικατασταθεί από τον τέταρτο όρο της εξίσωσης (4) για συνιστώσες των συχνοτήτων άνω των 6 GHz. Για να υπάρξει συμμόρφωση με τις Κατευθυντήριες Οδηγίες, οι αθροιζόμενες τιμές σε κάθε μία από τις εξισώσεις (1) έως (7) πρέπει να είναι μικρότερες από την μονάδα.

Πίνακας 8: **Επίπεδα Αναφοράς** για τοπική Έκθεση σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία για εύρος συχνοτήτων από 100 kHz έως 10 MHz (μη διαταραγμένες τιμές rms), για μέγιστες τιμές (peak values)

Σενάριο Έκθεσης	Εύρος Συχνοτήτων	Προσπίπτουσα Ένταση ΗΠ	Προσπίπτουσα Ένταση ΜΠ
		E_{inc} ($V \cdot m^{-1}$)	H_{inc} ($A \cdot m^{-1}$)
Επαγγελματική	100 kHz - 10 MHz	170	80
Γενικός πληθυσμός	100 kHz - 10 MHz	83	21

Σημείωση:

Ανεξάρτητα από την διάκριση των ζωνών μακρινού/κοντινού πεδίου, η συμμόρφωση ικανοποιείται εάν ούτε η μέγιστη τιμή της E_{inc} ή της H_{inc} , άνω του προβαλλόμενου χώρου ολοκλήρου του σώματος, υπερβαίνει τις ως άνω τιμές του **Επιπέδου Αναφοράς**.

Πίνακας 9: **Επίπεδα Αναφοράς** για ηλεκτρικά ρεύματα τα οποία προκαλούνται σε οποιοδήποτε άκρο (limb), για εκθέσεις μέσης χρονικής διάρκειας άνω των 6 min, για συχνότητες από 100 kHz έως 110 MHz.

Σενάριο Έκθεσης	Εύρος Συχνοτήτων	Ηλεκτρικό Ρεύμα I (mA)
Επαγγελματική	100 kHz - 110 MHz	100

Σημείωση

1. Οι τιμές της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος θα πρέπει να προσδιορίζονται μεσοσταθμικά επί των σχετικών τετραγωνικών τιμών (βλ. Εξίσωση 8 στο Παράρτημα Α).
2. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος του άκρου θα πρέπει να αξιολογείται διακριτά για κάθε άκρο.
3. Τα **Επίπεδα Αναφοράς** της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος του άκρου δεν παρέχονται για κανένα άλλο εύρος συχνοτήτων.
4. Τα **Επίπεδα Αναφοράς** του ηλεκτρικού ρεύματος του άκρου, απαιτούνται μόνο για περιπτώσεις όπου το ανθρώπινο σώμα δεν είναι ηλεκτρικά απομονωμένο από το επίπεδο εδάφους.

Βασικοί Περιορισμοί για Χρονικά Διαστήματα ≥ 6 min

Για την πρακτική εφαρμογή των ολόσωμων μέσων **Βασικών Περιορισμών**, το SAR πρέπει να προστίθεται σύμφωνα με την εξίσωση (1)

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{300 \text{ GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_{BR}} \leq 1 \quad (1)$$

όπου SAR_i είναι το επίπεδο του Ολόσωμου Μέσου SAR για συχνότητα i και SAR_{BR} το επίπεδο του Ολόσωμου Μέσου SAR των **Βασικών Περιορισμών** (δίδεται στον Πίνακα 2).

Για την πρακτική εφαρμογή του τοπικού SAR και των τοπικών **Βασικών Περιορισμών** της τιμής της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος - Absorbed Power Density (S_{ab}), οι τιμές θα πρέπει να προστίθενται σύμφωνα με την εξίσωση (2)

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{6 \text{ GHz}} \frac{SAR_i}{SAR_{BR}} + \sum_{\substack{i > 6 \text{ GHz} \\ 300 \text{ GHz}}} \frac{S_{ab,4 \text{ cm},i}}{S_{ab,4 \text{ cm},BR}} + \sum_{i > 30 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \text{MAX} \left\{ \left(\frac{S_{ab,4 \text{ cm},i}}{S_{ab,4 \text{ cm},BR}} \right), \left(\frac{S_{ab,1 \text{ cm},i}}{S_{ab,1 \text{ cm},BR}} \right) \right\} \leq 1 \quad (2)$$

όπου,

- SAR_i είναι το επίπεδο του τοπικού SAR για συχνότητα i και SAR_{BR} το επίπεδο του τοπικού **Βασικού Περιορισμού** (δίδεται από τον Πίνακα 2).

$S_{ab,4 \text{ cm},i}$ και $S_{ab,4 \text{ cm},BR}$ είναι τα επίπεδα, Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος για 4 cm^2 σε συχνότητα i και ο **Βασικός Περιορισμός** Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος για 4 cm^2 , αντίστοιχα (Πίνακα 2).

- $S_{ab,1cm,i}$ και $S_{ab,1cm,BR}$ είναι τα επίπεδα, Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος για 1 cm^2 σε συχνότητα i και ο Βασικός Περιορισμός Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος για 1 cm^2 , αντίστοιχα (Πίνακα 2).

Στο εσωτερικό του σώματος, οι όροι S_{ab} θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως μηδενικοί. Κατά την αξιολόγηση του αθροίσματος των ποσοτήτων SAR και S_{ab} επί της συνολικής επιφάνειας του σώματος, το κέντρο του χώρου μέτρησης του SAR λαμβάνεται ως x, y, z , με τρόπο ώστε το επίπεδο x, y να είναι παράλληλο με την επιφάνεια του σώματος ($z = 0$) και $z = -1,08 \text{ cm}$ (περίπου το μισό μήκος ενός κύβου 10 g), ενώ το κέντρο της περιοχής μεσοσταθμικής μέτρησης του S_{ab} ορίζεται ως $(x, y, 0)$. Η εξίσωση (2) θα πρέπει να ικανοποιείται για κάθε θέση εντός του ανθρώπινου σώματος.

Επίπεδα Αναφοράς για Χρονικά Διαστήματα $\geq 6 \text{ min}$

Για την πρακτική εφαρμογή των μέσων ολόσωμων **Επιπέδων Αναφοράς**, θα πρέπει να προστεθούν οι τιμές της Προσπίπτουσας Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου – Incident Electric Field Strength (E_{inc}), Προσπίπτουσας Έντασης Μαγνητικού Πεδίου - Incident Magnetic Field Strength (H_{inc}) καθώς και της τιμής της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ισχύος - Incident Power Density (S_{inc}), σύμφωνα με την εξίσωση (3)

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{30 \text{ MHz}} \left\{ \left(\frac{E_{inc,i}}{E_{inc,RL,i}} \right)^2 + \left(\frac{H_{nc,i}}{H_{nc,RL,i}} \right)^2 \right\} + \sum_{i>30 \text{ MHz}}^{2 \text{ GHz}} \text{MAX} \left\{ \left(\frac{E_{nc,i}}{E_{nc,RL,i}} \right)^2, \left(\frac{H_{nc,i}}{H_{nc,RL,i}} \right)^2, \left(\frac{S_{nc,i}}{S_{nc,RL,i}} \right) \right\} + \sum_{i>2 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \left(\frac{S_{nc,i}}{S_{nc,RL,i}} \right) \leq 1 \quad (3)$$

Όπου:

- $E_{inc,i}$ και $E_{inc,RL,i}$ είναι η Ολόσωμη Μέση Προσπίπτουσα Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου και το **Επίπεδο Αναφοράς** της Ολόσωμης Μέσης Προσπίπτουσας Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου για την συχνότητα i , αντίστοιχα (δίδεται στον Πίνακα 5).
- $H_{inc,i}$ και $H_{inc,RL,i}$ είναι η Ολόσωμη Μέση Προσπίπτουσα Ένταση Μαγνητικού Πεδίου και το **Επίπεδο Αναφοράς** της Ολόσωμης Μέσης Προσπίπτουσας Έντασης Μαγνητικού Πεδίου για την συχνότητα i , αντίστοιχα (δίδεται στον Πίνακα 5).
- $S_{inc,i}$ και $S_{inc,RL,i}$ είναι η Ολόσωμη Μέση Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος και το **Επίπεδο Αναφοράς** της Ολόσωμης Μέσης Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ισχύος για την συχνότητα i , αντίστοιχα (δίδεται στον Πίνακα 5).

Ας σημειωθεί ότι ο δεύτερος όρος δεν είναι κατάλληλος για την αντιδραστική ζώνη του κοντινού πεδίου, και συμπερασματικά, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί στην εξίσωση (3).

Για την πρακτική εφαρμογή των τοπικών **Επιπέδων Αναφοράς**, θα πρέπει να προστεθούν οι τιμές Προσπίπτουσας Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου, Προσπίπτουσας Έντασης Μαγνητικού Πεδίου και Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ισχύος, σύμφωνα με εξίσωση (4)

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i=100 \text{ kHz}}^{30 \text{ MHz}} \text{MAX} \left\{ \left(\frac{E_{inc,i}}{E_{inc,RL,i}} \right)^2, \left(\frac{H_{nc,i}}{H_{nc,RL,i}} \right)^2 \right\} \\
 & + \sum_{\substack{i > 30 \text{ MHz} \\ 300 \text{ GHz}}}^{2 \text{ GHz}} \text{MAX} \left\{ \left(\frac{E_{nc,i}}{E_{nc,RL,i}} \right)^2, \left(\frac{H_{nc,i}}{H_{nc,RL,i}} \right)^2, \left(\frac{S_{nc,i}}{S_{nc,RL,i}} \right) \right\} \\
 & + \sum_{\substack{i > 2 \text{ GHz} \\ 300 \text{ GHz}}} \left(\frac{S_{nc,i}}{S_{nc,RL,i}} \right) + \sum_{i > 6 \text{ GHz}}^{30 \text{ GHz}} \frac{S_{ab,4 \text{ cm},i}}{S_{ab,4 \text{ cm},BR}} \\
 & + \sum_{i > 30 \text{ GHz}} \text{MAX} \left\{ \left(\frac{S_{ab,4 \text{ cm},i}}{S_{ab,4 \text{ cm},BR}} \right), \left(\frac{S_{ab,1 \text{ cm},i}}{S_{ab,1 \text{ cm},BR}} \right) \right\} \leq 1 \quad (4)
 \end{aligned}$$

όπου,

- ✓ $E_{inc,i}$ και $E_{inc,RL,i}$ είναι η τοπική Προσπίπτουσα Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου και το τοπικό **Επίπεδο Αναφοράς** της Προσπίπτουσας Έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου για την συχνότητα i , αντίστοιχα (δίδεται στον Πίνακα 6).
- ✓ $H_{inc,i}$ και $H_{inc,RL,i}$ είναι η τοπική Προσπίπτουσα Ένταση Μαγνητικού Πεδίου και το τοπικό **Επίπεδο Αναφοράς** της Προσπίπτουσας Έντασης Μαγνητικού Πεδίου για την συχνότητα i , αντίστοιχα (δίδεται στον Πίνακα 6).
- ✓ $S_{inc,i}$ και $S_{inc,RL,i}$ είναι η τοπική Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος και το τοπικό **Επίπεδο Αναφοράς** της τοπικής Μέσης Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ισχύος για την συχνότητα i , αντίστοιχα (δίδεται στον Πίνακα 6).

Μέσα στο σώμα, για συχνότητα μεγαλύτερη από τα 6 GHz, οι όροι S_{inc} πρέπει να μηδενίζονται. Η εξίσωση (4) πρέπει να ικανοποιείται για κάθε θέση στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος.

Για την πρακτική εφαρμογή των **Επιπέδων Αναφοράς** των ηλεκτρικών ρευμάτων των άκρων (limbs), οι τιμές του ηλεκτρικού ρεύματος των άκρων θα πρέπει να προστίθενται σύμφωνα με την εξίσωση (5)

$$\sum_{i=100 \text{ kHz}}^{110 \text{ MHz}} \left(\frac{I_i}{I_{RL}} \right)^2 \leq 1 \quad (5)$$

όπου I_i είναι η συνιστώσα του ηλεκτρικού ρεύματος του άκρου για την συχνότητα i και I_{RL} είναι η αντίστοιχη τιμή του **Επιπέδου Αναφοράς** του ηλεκτρικού ρεύματος για τα άκρα (Πίνακα 9). Εάν υπάρχουν μη αμελητέες συνεισφορές στην τοπική τιμή της **SAR** στα άκρα για συχνότητες υψηλότερες των 110 MHz, αυτές θα πρέπει να

λαμβάνονται υπ' όψιν συνδυάζοντας τους αντίστοιχους όρους των εξισώσεων (2) ή (4).

Βασικοί Περιορισμοί για Χρονικά Διαστήματα $\leq 6 \text{ min}$

Για την πρακτική εφαρμογή των τοπικών Βασικών Περιορισμών, για χρονικά διαστήματα $(t) < 6 \text{ min}$, οι τιμές των SAR, SA και της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ενέργειας U_{ab} θα πρέπει να προστίθενται σύμφωνα με την κατωτέρω εξίσωση:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{i=100 \text{ kHz}}^{400 \text{ MHz}} \int_2 \frac{SAR_i(t)}{360 * SAR_{BR}(t)} dt \\
 & + \sum_{i>400 \text{ MHz}}^{6 \text{ GHz}} \frac{SA_i(t)}{SA_{BR}(t)} \\
 & + \sum_{i>6 \text{ GHz}}^{30 \text{ GHz}} \frac{U_{ab,4 \text{ cm},i}(t)}{U_{ab,4 \text{ cm},BR}(t)} \\
 & + \sum_{i>30 \text{ GHz}}^{300 \text{ GHz}} \text{MAX} \left\{ \left(\frac{U_{ab,4 \text{ cm},i}(t)}{U_{ab,4 \text{ cm},BR}(t)} \right), \left(\frac{U_{ab,1 \text{ cm},i}(t)}{U_{ab,1 \text{ cm},BR}(t)} \right) \right\} \\
 & \leq 1
 \end{aligned} \tag{6}$$

όπου,

$SAR_i(t)$ και $SAR_{BR}(t)$ είναι το τοπικό επίπεδο SAR στην συχνότητα i και ο Βασικός Περιορισμός για το τοπικό επίπεδο SAR αντίστοιχα, για χρόνο t (δίδεται στον πίνακα 2).

$SA_i(t)$ και $SA_{BR}(t)$ είναι το τοπικό επίπεδο SA στην συχνότητα i και ο Βασικός Περιορισμός για το τοπικό επίπεδο SA, για χρόνο t , αντίστοιχα (δίδεται στον πίνακα 3).

$U_{ab,4\text{cm},i}(t)$ και $U_{ab,4\text{cm},BR}(t)$ είναι το επίπεδο της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος για επιφάνεια 4 cm^2 στην συχνότητα i και ο Βασικός Περιορισμός της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος για επιφάνεια 4 cm^2 αντίστοιχα, για χρόνο t (δίδεται στον πίνακα 3).

$U_{ab,1\text{cm},i}(t)$ και $U_{ab,1\text{cm},BR}(t)$ είναι το επίπεδο της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος για επιφάνεια 1 cm^2 στην συχνότητα i και ο Βασικός Περιορισμός της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος για επιφάνεια 1 cm^2 αντίστοιχα, για χρόνο t (δίδεται στον πίνακα 3).

Εντός του σώματος, οι όροι U_{ab} θα πρέπει να μηδενίζονται. Κατά την αξιολόγηση του αθροίσματος του SAR και/ή του SA, και του U_{ab} , επί της επιφανείας του σώματος, το κέντρο του χώρου μέτρησης της μέσης τιμής του SAR και/ή του SA λαμβάνεται ίσο με x, y, z , με τρόπο ώστε το επίπεδο (x, y) να είναι παράλληλο με την επιφάνεια του σώματος ($z = 0$) και $z = -1,08 \text{ cm}$ (περίπου το μισό μήκος ενός κύβου 10 g) και το κέντρο της περιοχής μέτρησης του Μέσου U_{ab} ορίζεται ως $(x, y, 0)$.

Η εξίσωση (6) θα πρέπει να ικανοποιείται για κάθε θέση στο εσωτερικό του ανθρώπινου σώματος. Για ταυτόχρονη Έκθεση, βραχείας και εκτεταμένης χρονικής διάρκειας, τα φυσικά μεγέθη SAR, SA και U_{ab} θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν όλα, από την εξίσωση (6).

Επίπεδα Αναφοράς για Χρονικά Διαστήματα < 6 min

Για πρακτικές εφαρμογές των τοπικών **Επιπέδων Αναφοράς** για χρονικά διαστήματα < 6 min, οι τιμές της Προσπίπτουσας Έντασης του Ηλεκτρικού Πεδίου (E_{inc}), της Προσπίπτουσας Έντασης του Μαγνητικού Πεδίου (H_{inc}), της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ισχύος (S_{inc}) και της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ενέργειας (U_{inc}), θα πρέπει να προστίθενται σύμφωνα με της εξίσωση (7):

$$\begin{aligned}
 & \sum_{\substack{i > 100 \text{ kHz} \\ 400 \text{ MHz}}}^{30 \text{ MHz}} \text{MAX} \left\{ \left(\int_2 \frac{E_{inc,i}^2(t)}{360 * E_{inc,RL,i}^2} dt \right), \left(\int_2 \frac{H_{inc,i}^2(t)}{360 * H_{inc,RL,i}^2} dt \right) \right\} \\
 & + \sum_{\substack{i > 30 \text{ MHz} \\ 6 \text{ GHz}}} \text{MAX} \left\{ \left(\frac{E_{inc,i}^2(t)}{360 * E_{inc,RL,i}^2} \right), \left(\int_2 \frac{H_{inc,i}^2(t)}{360 * H_{inc,RL,i}^2} dt \right), \left(\int_2 \frac{S_{inc,i}^2(t)}{360 * S_{inc,RL,i}^2} dt \right) \right\} \\
 & + \sum_{\substack{i > 400 \text{ MHz} \\ 300 \text{ GHz}}} \left(\frac{U_{inc,i}(t)}{U_{inc,RL,i}(t)} \right) + \sum_{i=6 \text{ GHz}}^{30 \text{ GHz}} \frac{U_{inc,4 \text{ cm},i}(t)}{U_{inc,4 \text{ cm},RL,i}(t)} \\
 & + \sum_{i > 30 \text{ GHz}} \text{MAX} \left\{ \left(\frac{U_{ab,4 \text{ cm},i}}{U_{ab,4 \text{ cm},RL,i}} \right), \left(\frac{U_{ab,1 \text{ cm},i}}{U_{ab,1 \text{ cm},RL,i}} \right) \right\} \leq 1 \quad (7)
 \end{aligned}$$

όπου

- ✓ $E_{inc,i}(t)$ και $E_{inc,RL,i}$ είναι το τοπικό επίπεδο E_{inc} για χρόνο t και το τοπικό **Επίπεδο Αναφοράς** E_{inc} στην συχνότητα i, αντίστοιχα (δίδεται στον πίνακα 6).
- ✓ $H_{inc,i}(t)$ και $H_{inc,RL,i}$ είναι το τοπικό επίπεδο H_{inc} για χρόνο t και το τοπικό **Επίπεδο Αναφοράς** H_{inc} , στην συχνότητα i, αντίστοιχα (δίδεται στον πίνακα 6).
- ✓ $S_{inc,i}(t)$ και $S_{inc,RL,i}$ είναι το τοπικό επίπεδο S_{inc} για χρόνο t και το τοπικό **Επίπεδο Αναφοράς** S_{inc} , στην συχνότητα i, αντίστοιχα (δίδεται στον πίνακα 6).
- ✓ $U_{inc,i}(t)$ και $U_{inc,RL}(t)$ είναι η Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ενέργειας στην συχνότητα i και το **Επίπεδο Αναφοράς** της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ενέργειας, για χρόνο t, αντίστοιχα (δίδεται στον πίνακα 7).
- ✓ $U_{inc,4 \text{ cm},i}(t)$ και $U_{inc,4 \text{ cm},RL}(t)$ είναι το επίπεδο της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ενέργειας σε επιφάνεια 4 cm² και το **Επίπεδο Αναφοράς** της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ενέργειας σε επιφάνεια 4 cm², για χρόνο t, στην συχνότητα i, αντίστοιχα (δίδεται στον πίνακα 7).
- ✓ $U_{inc,1 \text{ cm},i}(t)$ and $U_{inc,1 \text{ cm},RL}(t)$ είναι το επίπεδο της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ενέργειας σε επιφάνεια 1 cm² και το **Επίπεδο Αναφοράς** της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ενέργειας σε επιφάνεια 1 cm², για χρόνο t, στην συχνότητα i, αντίστοιχα (δίδεται στον πίνακα 7).

Στο εσωτερικό του σώματος, οι όροι U_{inc} πρέπει να μηδενίζονται. Η εξίσωση (7) πρέπει να ικανοποιείται για κάθε θέση στο ανθρώπινο σώμα.

Κατευθυντήριες Οδηγίες για Ρεύματα Επαφής (Contact Currents)

Στο εύρος συχνοτήτων 100 kHz (περίπου) έως 110 MHz, είναι δυνατόν να προκύψουν ρεύματα επαφής, όταν ένα άτομο αγγίζει ένα αγωγίμο αντικείμενο το οποίο ευρίσκεται εντός ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου, προκαλώντας ροή ρεύματος μεταξύ του αντικειμένου και του ατόμου. Σε υψηλά επίπεδα, τα ρεύματα επαφής είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε διέγερση των νεύρων ή πόνο (και πιθανώς βλάβη στους ιστούς), εξαρτώμενα από την συχνότητα RF-EMF (Kavet et al. 2014; Tell and Tell 2018).

Αυτό το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό πλησίον μεγάλων πομπών ραδιοσυχνοτήτων, όπως εκείνοι οι οποίοι ευρίσκονται κοντά σε κεραίες υψηλής ισχύος και χρησιμοποιούνται για μετάδοση EMF κάτω των 30 MHz και στην περιοχή του φάσματος 87,5-108 MHz, όπου υπήρξαν σποραδικές αναφορές για ατυχήματα σχετιζόμενα με πόνο και έγκαυμα.

Τα ρεύματα επαφής εμφανίζονται στην περιοχή επαφής, με μικρότερες περιοχές επαφής να παράγουν εντονότερα βιολογικά αποτελέσματα (δεδομένου του ίδιου ρεύματος). Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη πυκνότητα ρεύματος ($A \cdot m^{-2}$), και κατά συνέπεια στην υψηλότερη τιμή του τοπικού SAR στο σώμα.

Η Έκθεση η οποία οφείλεται σε ρεύματα επαφής είναι έμμεση, καθώς απαιτεί ένα ενδιάμεσο αγωγίμο αντικείμενο για να μεταβάλλει το πεδίο. Αυτό καθιστά την Έκθεση λόγω ρευμάτων επαφής απρόβλεπτη, τόσο λόγω τρόπου επαφής με αγωγίμο αντικείμενο (π.χ. “αδράχνω” έναντι του “ακουμπώ”), όσο και περιβαλλοντικών συνθηκών (π.χ. διαμόρφωση αγωγίμων αντικειμένων) τα οποία μειώνουν την δυνατότητα της ICNIRP για προστασία από αυτά.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι η ετερογένεια της πυκνότητας του ρεύματος η οποία διέρχεται και απορροφάται από το άτομο και οφείλεται όχι μόνο στην περιοχή επαφής, αλλά και από την αγωγιμότητα, την πυκνότητα και την θερμική ικανότητα του ιστού από τον οποίο διέρχεται το ρεύμα και το πλέον σημαντικό, την αντίσταση μεταξύ του αγωγού αντικειμένου και του ιστού επαφής (Tell and Tell 2018).

Συνεπώς, οι παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες δεν παρέχουν Περιορισμούς για τα ρεύματα επαφής, αντίθετα παρέχουν “καθοδήγηση” για να βοηθήσουν εκείνους οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την μετάδοση πεδίων ραδιοσυχνοτήτων υψηλής ισχύος με σκοπό την κατανόηση των ρευμάτων επαφής, τους πιθανούς κινδύνους και πως να τους μειώσουν.

Με σκοπό την εξειδίκευση, η ICNIRP ορίζει στο παρόν, ως υψηλής ισχύος RF-EMF τις ραδιοσυχνότητες εκείνες οι οποίες εκπέμπουν περισσότερο από $100 V \cdot m^{-1}$ εντός του εύρους συχνοτήτων από 100 kHz έως 100 MHz, στην πηγή τους.

Υπάρχει περιορισμένη έρευνα αναφορικά με την σχέση μεταξύ των ρευμάτων επαφής και της υγείας. Σε ότι αφορά στον πόνο και τις επιπτώσεις του στην υγεία τις προκύπτουσες από το χαμηλότερο επίπεδο ρευμάτων επαφής, τα κυριότερα δεδομένα προέρχονται από τους Chatterjee et al. (1986). Σε αυτήν την μελέτη, η

αίσθηση και ο πόνος αξιολογήθηκαν σε μια μεγάλη κοόρτη ενηλίκων ως συνάρτηση της συχνότητας του ρεύματος επαφής και του τύπου επαφής (“αδράχνω” έναντι “ακουμπώ” ένα αντικείμενο).

Αναστρέψιμες, επώδυνες αισθήσεις θερμότητας (“ακουμπώ”) αναφέρθηκαν ότι εμφανίστηκαν με μέσο επαγόμενο κατώφλι ρεύματος τα 46 mA, εντός του ελεγχόμενου εύρους συχνοτήτων από 100 kHz έως 10 MHz, το οποίο απαιτούσε τουλάχιστον 10 sec Έκθεσης, ώστε να καταγραφεί ως πόνος. Τα κατώφλια ήταν ανεξάρτητα της συχνότητας εντός αυτού του εύρους και κατώφλια για “άδραγμα” ήταν σημαντικά υψηλότεροι σε σχέση με την επαφή (“ακουμπώ”).

Ωστόσο, δεδομένου ότι η τιμή ουδού η οποία αναφέρθηκε ήταν ένας μέσος όρος μεταξύ των συμμετεχόντων και δεδομένης της τυπικής απόκλισης των αναφερομένων ουδών, η ICNIRP θεωρεί ότι το χαμηλότερο κατώφλι στην μελέτη ομάδας (cohort study) θα ήταν περίπου 20 mA.

Επιπλέον, η μοντελοποίηση από αυτά τα δεδομένα υποδηλώνει ότι τα παιδιά θα έχουν χαμηλότερα κατώφλια. Προεκτείνοντας τα δεδομένα των Chatterjee et al. (1986) και Chan et al. (2013), το κατώτατο κατώφλι στα παιδιά ευρίσκεται στα όρια των 10 mA. Η ανώτερη συχνότητα του ρεύματος επαφής η οποία είναι δυνατόν να προκαλέσει βλάβη δεν είναι επίσης γνωστή. Παρόλο που οι Κατευθυντήριες Οδηγίες της ICNIRP (1998) καθόρισαν **Επίπεδα Αναφοράς** για τον υπολογισμό των ρευμάτων επαφής, από 100 kHz έως 110 MHz, οι Chatterjee et al. (1986) ερεύνησαν μόνο έως 10 MHz και οι Tell & Tell (2018) ανέφεραν ισχυρή μείωση του κατωφλίου ευαισθησίας στα ρεύματα επαφής από περίπου 1 MHz έως 28 MHz (και δεν αξιολόγησαν υψηλότερες συχνότητες). Επομένως, δεν είναι σαφές ότι τα ρεύματα επαφής θα παραμείνουν επικίνδυνα για την υγεία, σε ολόκληρη την περιοχή των 100 kHz έως 110 MHz.

Κατά τον προσδιορισμό της πιθανότητας και της φύσης του κινδύνου εξαιτίας των ρευμάτων επαφής σε διάφορα σενάρια, η ICNIRP θεωρεί τις ως άνω πληροφορίες ως σημαντικές γνώσεις για τον υπεύθυνο διαχείρισης κινδύνου σχετικά με ρεύματα επαφής, εντός του εύρους συχνοτήτων από 100 kHz έως 110 MHz. Αυτό είναι δυνατόν επίσης να βοηθήσει στην πραγματοποίηση ανάλυσης κινδύνου-οφέλους για ένα άτομο στο οποίο θα επιτραπεί να ευρεθεί σε περιβάλλον RF-EMF, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει ρεύματα επαφής. Από τα ρεύματα επαφής είναι δυνατόν να ελαχιστοποιηθεί με την εκπαίδευση των εργαζομένων ώστε να αποφύγουν την επαφή με αγώγιμα αντικείμενα, αλλά όπου απαιτείται επαφή, οι ακόλουθοι παράγοντες είναι σημαντικοί:

- ✓ Μεγάλα μεταλλικά αντικείμενα πρέπει να συνδέονται με το έδαφος (γείωση).
- ✓ Οι εργαζόμενοι πρέπει να έρχονται σε επαφή μέσω μονωτικών υλικών (π.χ. προστατευτικά γάντια ραδιοσυχνοτήτων).
- ✓ Οι εργαζόμενοι θα πρέπει να ενημερώνονται για τους κινδύνους, συμπεριλαμβάνοντας την πιθανότητα “έκπληξης” η οποία μπορεί να έχει αντίκτυπο στην ασφάλεια με τρόπους διαφορετικούς από την άμεση επίδραση του ηλεκτρικού ρεύματος στους ιστούς (για παράδειγμα προκαλώντας ατυχήματα).

Εκτίμηση Μείωσης Κινδύνου για Επαγγελματική Έκθεση

Για να αιτιολογείται η Έκθεση σε πεδία ραδιοσυχνοτήτων σε επαγγελματικό επίπεδο, απαιτείται η ύπαρξη ένας κατάλληλου προγράμματος υγείας και ασφάλειας. Τμήμα ενός τέτοιου προγράμματος καλύπτει η κατανόηση των δυνητικών επιπτώσεων, οι οποίες μπορούν να προκληθούν από τις εκθέσεις σε RF-EMF συμπεριλαμβανομένης και της εκτίμησης για το ενδεχόμενο βιολογικά αποτελέσματα τα οποία προκύπτουν από τις εκθέσεις, να συμβάλλουν προσθετικά σε άλλα βιολογικά αποτελέσματα, τα οποία δεν σχετίζονται με τις ραδιοσυχνότητες.

Για παράδειγμα, όταν η κεντρική θερμοκρασία σώματος είναι ήδη αυξημένη λόγω παραγόντων ανεξάρτητων των RF-EMF, όπως είναι η έντονη δραστηριότητα, η αύξηση της θερμοκρασίας η οποία επάγεται από τα RF-EMF, πρέπει να εξετάζεται σε συνδυασμό με τις άλλες πηγές θέρμανσης.

Παρομοίως, είναι σημαντικό επίσης να εξετάζεται εάν ένα άτομο πάσχει από μια ασθένεια ή ευρίσκεται σε κατάσταση η οποία μπορεί να επηρεάσει την θερμορυθμιστική ικανότητα του σώματός του, ή εάν ενδέχεται να υπάρχουν περιβαλλοντικές δυσκολίες στην απαγωγή της θερμότητας από το σώμα.

Οι σχετικές επιπτώσεις στην υγεία, για τις οποίες παρέχεται προστασία από τους είναι το αυξημένο καρδιαγγειακό φορτίο (λόγω των εργασιών τις οποίες πρέπει να εκτελέσει το καρδιαγγειακό σύστημα προκειμένου να περιοριστεί η αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος) και όπου η αύξηση της θερμοκρασίας δεν περιορίζεται σε ασφαλές επίπεδο, πραγματοποιείται μία σειρά λειτουργικών αλλαγών η οποία είναι δυνατόν να οδηγήσει σε αναστρέψιμα και μη αναστρέψιμα φαινόμενα στους ιστούς (συμπεριλαμβανομένων της καρδιάς, του εγκεφάλου και των νεφρών). Αυτά τα φαινόμενα κατά κανόνα απαιτούν κεντρική θερμοκρασία σώματος υψηλότερη των 40°C (ή αύξηση περίπου 3°C σε σχέση με την φυσιολογική θερμοκρασία).

Λόγω των ως άνω, έχουν εφαρμοστεί μεγάλοι συντελεστές μείωσης ώστε να είναι εξαιρετικά απίθανο η ραδιοκυματικά επαγόμενη θερμοκρασία να υπερβεί τον 1°C (έχουν οριστεί περιορισμοί για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους, όπου υπό φυσιολογικές θερμοκρασίες δεν επιτρέπουν αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος άνω του 0,1 °C). Ωστόσο, θα πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή και να είναι γνωστό εάν υπάρχουν και άλλοι παράγοντες παρόντες, οι οποίοι ενδέχεται να επηρεάσουν την κεντρική θερμοκρασία του σώματος. Τέτοιοι παράγοντες περιλαμβάνουν:

- ✓ υψηλές περιβαλλοντικές θερμοκρασίες,
- ✓ υψηλή φυσική δραστηριότητα και
- ✓ παράγοντες οι οποίοι εμποδίζουν την φυσιολογική θερμορυθμιστική ικανότητα του σώματος, όπως είναι η χρήση θερμομονωτικών ενδυμάτων ή ορισμένες ιατρογενείς συνθήκες.

Όταν σημαντική ποσότητα θερμότητας αναμένεται από άλλες πηγές, προτείνεται οι εργαζόμενοι να είναι εφοδιασμένοι με κατάλληλα μέσα ελέγχου της κεντρικής θερμοκρασίας του σώματός τους (βλ. ACGIH 2017 για περαιτέρω συμβουλές).

Οι σχετικές επιπτώσεις στην υγεία για τις οποίες παρέχεται προστασία από τους τοπικούς **Βασικούς Περιορισμούς** είναι ο πόνος και η θερμο-επαγόμενη βλάβη των ιστών. Εντός ιστού Τύπου 1, όπως το δέρμα ή τα άκρα, ο πόνος (λόγω διέγερσης των υποδοχέων του πόνου) και η βλάβη των ιστών (λόγω της αποδιάταξης των πρωτεϊνών), τυπικά απαιτούν θερμοκρασίες άνω των 41°C. Η επαγγελματική Έκθεση των άκρων είναι απίθανο να αυξάνει την τοπική θερμοκρασία κατά περισσότερο από 2,5°C και δεδομένου ότι οι θερμοκρασίες των άκρων είναι, υπό φυσιολογικές συνθήκες, κάτω από τους 31-36°C, δεν είναι πιθανό η Έκθεση σε RF-EMF των ιστών, από μόνη της, να έχει ως αποτέλεσμα είτε πόνο, είτε βλάβη στους ιστούς. Εντός ιστού Τύπου 2, όπως π.χ. στην κεφαλή ή στον κορμό (εξαιρουμένων των επιφανειακών ιστών), δεν είναι επίσης πιθανό να προκληθεί βλάβη για θερμοκρασίες κάτω των 41°C.

Καθώς η επαγγελματική Έκθεση των ιστών της κεφαλής και του κορμού δεν είναι πιθανό να αυξάνει την θερμοκρασία περισσότερο από 1°C, και δεδομένου ότι η κεντρική θερμοκρασία σώματος είναι υπό φυσιολογικές συνθήκες περίπου 37-38°C, δεν είναι πιθανό η Έκθεση σε RF-EMF να οδηγήσει σε αύξηση της θερμοκρασίας ικανή να προκαλέσει βλάβη σε ιστούς Τύπου-2 ή στις λειτουργίες των ιστών.

Ωστόσο, πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή όταν ένας εργαζόμενος υπόκειται και σε άλλες πηγές θερμότητας οι οποίες είναι δυνατόν να προσθέσουν στην Έκθεση των RF-EMF, όπως αυτές οι οποίες περιγράφονται ως άνω, σε σχέση με την κεντρική θερμοκρασία σώματος. Για σενάρια επιφανειακής Έκθεσης, η τοπική θερμική δυσφορία και ο πόνος μπορεί να είναι σημαντικοί δείκτες πιθανής θερμικής βλάβης του ιστού.

Είναι επομένως σημαντικό, ιδιαιτέρως σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν και άλλοι θερμικοί στρεσογόνοι παράγοντες, ότι ο εργαζόμενος κατανοεί ότι η έκθεση σε ραδιοσυχνότητες μπορεί να συνεισφέρει στο θερμικό τους φορτίο και επομένως θα πρέπει να είναι σε θέση να λάβει τα κατάλληλα μέτρα για τον περιορισμό μίας πιθανής βλάβης.

Ευχαριστήρια - Συνεργάτες:

Rodney Croft, ICNIRP and Australian Centre for Electromagnetic Bioeffects Research, Illawarra Health & Medical Research Institute, University of Wollongong, Australia;

Maria Feychting, ICNIRP and Karolinska Institutet, Sweden; Adèle C Green, ICNIRP and QIMR Berghofer Medical Research Institute, Brisbane, Australia and CRUK Manchester Institute, University of Manchester, Manchester, UK;

Akimasa Hirata, ICNIRP and Nagoya Institute of Technology, Japan;

Guglielmo d'Inzeo, ICNIRP and La Sapienza University, Rome, Italy; Kari Jokela†, ICNIRP SEG and STUK – Radiation and Nuclear Safety Authority, Finland;

SARah Loughran, ICNIRP SEG and Australian Centre for Electromagnetic Bioeffects Research, Illawarra Health & Medical Research Institute, University of Wollongong, Australia;

Carmela Marino, ICNIRP and Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA), Italy; Sharon Miller, ICNIRP;

Gunnhild Oftedal, ICNIRP and Norwegian University of Science and Technology (NTNU);

Tsutomu Okuno, ICNIRP;

Eric van Rongen, ICNIRP and Health Council, The Netherlands;

Martin Rössli, ICNIRP and Swiss Tropical and Public Health Institute, Switzerland;

Zenon Sienkiewicz, ICNIRP;

John Tattersall, ICNIRP SEG;

Soichi Watanabe, ICNIRP and National Institute of Information and Communications Technology (NICT), Japan.

Οι απόψεις οι οποίες εκφράστηκαν από τους συνεργάτες σε αυτήν την έκδοση δεν αντικατοπτρίζουν απαραίτητα τις απόψεις ή τις πολιτικές των οργανισμών με τους οποίους συνδέονται επαγγελματικά.

Η αναφορά εμπορικών προϊόντων, οι πηγές τους ή η χρήση τους σε σχέση με υλικό το οποίο αναφέρεται εδώ δεν πρέπει να εκληφθεί ως πραγματική ή σιωπηρή έγκριση τέτοιων προϊόντων από την ICNIRP ή οποιονδήποτε από τους οργανισμούς με τους οποίους είναι συνδεδεμένα τα μέλη της ICNIRP.

Η ληφθείσα υποστήριξη από το German Federal Ministry for the Environment (BMU), την European Union Programme for Employment and Social Innovation “EaSI” (2014–2020), την International Radiation Protection Association (IRPA), την Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency (ARPANSA) και την New Zealand Ministry of Health αναγνωρίζεται με ευγνωμοσύνη.

Όσον αφορά στα κονδύλια της ΕΕ, για περισσότερες πληροφορίες συμβουλευτείτε:

<http://ec.europa.eu/social/easi>.

Οι θέσεις οι οποίες εμπεριέχονται σε αυτήν την έκδοση δεν αντικατοπτρίζουν απαραίτητα την επίσημη θέση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ή άλλων δωρητών. Όλες οι πληροφορίες σχετικά με την υποστήριξη την οποία έλαβε το ICNIRP διατίθενται στην διεύθυνση www.icnirp.org.

Οι Κατευθυντήριες Οδηγίες εκπονήθηκαν από τα μέλη της Επιτροπής ICNIRP και τους επιστημονικούς εμπειρογνώμονες της Ομάδας Έργων ICNIRP για RF:

Rodney Croft (Chair), Maria Feychting, Akimasa Hirata, Guglielmo d'Inzeo, Kari Jokela†, SARah Loughran, Carmela Marino, Gunnhild Oftedal, Tsutomu Okuno, Eric van Rongen, Martin Rössli, Zenon Sienkiewicz, John Tattersall, and Soichi Watanabe.

Οι Κατευθυντήριες Οδηγίες υποβλήθηκαν σε δημόσια διαβούλευση το 2018 και εγκρίθηκαν από την επιτροπή τον Αύγουστο του 2019. Κατά την στιγμή της έγκρισης, η επιτροπή περιελάμβανε τα ακόλουθα μέλη:

Eric van Rongen (Chair), Rodney Croft, Maria Feychting, Adèle C Green, Akimasa Hirata, Guglielmo d'Inzeo, Carmela Marino, Sharon Miller, Gunnhild Oftedal, Tsutomu Okuno, Martin Rössli, Zenon Sienkiewicz, and Soichi Watanabe.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. TLVs and BEIs: based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH: ACGIH; 2017.

Arens E, Zhang H. Skin's role in human thermoregulation and comfort. In: Pann N, Gibson P, eds. Thermal and moisture transport in fibrous materials. Cambridge, England: Woodhead Publishing Ltd; 2006: 560–602.

Aschoff J, Wever R. Kern und Schale im Wärmehaushalt des Menschen. *Naturwissenschaften* 20:477–487; 1958 (in German).

Brockow T, Wagner A, Franke A, Offenbacher M, Resch KL. A randomized controlled trial on the effectiveness of mild water filtered near infrared whole-body hyperthermia as an adjunct to a standard multimodal rehabilitation in the treatment of fibromyalgia. *Clinical J Pain* 23:67–75; 2007.

Chan KH, Hattori J, Laakso I, Hirata A, Taki M. Computational dosimetry for grounded and ungrounded human models due to contact current. *Phys Med Biol* 58:5153–5172; 2013.

Chatterjee I, Wu D, Gandhi OP. Human body impedance and threshold currents for perception and pain for contact hazards analysis in the VLF-MF band. *IEEE Trans Biomed Engineer* 33:486–494; 1986.

Cheshire WP Jr. Thermoregulatory disorders and illness related to heat and cold stress. *Autonomic Neurosci: Basic and Clinical* 196:91–104; 2016.

Defrin R, Shachal-Shiffer M, Hadgadg M, Peretz C. Quantitative somatosensory testing of warm and heat-pain thresholds: the effect of body region and testing method. *Clinical J Pain* 22: 130–136; 2006.

Dewhirst MW, Viglianti BL, Lora-Michiels M, Hanson M, Hopes PJ. Basic principles of thermal dosimetry and thermal thresholds for tissue damage from hyperthermia. *Internat J Hyperthermia* 19:267–294; 2003.

Dimbylow P. The relationship between localised SAR in the arm and wrist current. *Radiat Protect Dosim* 95:177–179; 2001.

DuBois EF. The temperature of the human body in health and disease. In: *Temperature: its measurement and control in science and industry*. New York: American Institute of Physics, Reinhold Publishing Corporation; 1941: 24–40.

Edwards MJ, Saunders RD, Shiota K. Effects of heat on embryos and fetuses. *Internat J Hyperthermia* 19:295–324; 2003.

Flintoft M, Robinson MP, Melia GCR, Marvin AC, Dawson JF. Average absorption cross-section of the human body measured at 1–12 GHz in a reverberant chamber: results of a human volunteer study. *Phys Med Biol* 59:3297–3317; 2014.

Foster KR, Ziskin MC, Balzano Q. Thermal modeling for the next generation of radiofrequency exposure limits: commentary. *Health Phys* 113:41–53; 2017.

Foster KR, Ziskin MC, Balzano Q. Thermal response of human skin to microwave energy: a critical review. *Health Phys* 111:528–541; 2016.

Funahashi D, Hirata A, Koderia S, Foster KR. Area-averaged transmitted Power Density at skin surface as metric to estimate surface temperature elevation. *IEEE Access* 6:77665–77674; 2018.

Hashimoto Y, Hirata A, Morimoto R, Aonuma S, Laakso I, Jokela K, Foster KR. On the averaging area for Incident Power Density for human exposure limits at frequencies over 6 GHz. *Phys Med Biol* 62:3124–3138; 2017.

Hirata A, Fujiwara O. The correlation between mass-averaged SAR and temperature elevation in the human head model exposed to RF near-fields from 1 to 6GHz. *Phys Med Biol* 54:7171–7182; 2009.

Hirata A, Laakso I, Oizumi T, Hanatani R, Chan KH, Wiart J. The relationship between specific absorption rate and temperature elevation in anatomically based human body models for plane wave exposure from 30 MHz to 6 GHz. *Phys Med Biol* 58:903–921; 2013.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 74:494–522; 1998.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Statement on the “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)”. *Health Phys* 97:257–58; 2009.

International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys* 99:818–836; 2010.

IEC. Medical electrical equipment—part 1–2: general requirements for basic safety and essential performance—collateral standard: electromagnetic disturbances—requirements and tests. Geneva: IEC; 60601-1-2:2014; 2014.

ISO. Active implantable medical devices—electromagnetic compatibility—EMC test protocols for implantable cardiac pacemakers, implantable cardioverter defibrillators and cardiac resynchronization devices. Geneva: ISO; 14117:2012; 2012.

Joshi RP, Schoenbach KH. Bioelectric effects of intense ultrashort pulses. *Critical Rev Biomed Engineer* 38:255–304; 2010.

Juutilainen J, Höytö, Kumlin T, Naarala J. Review of possible modulation-dependent biological effects of radiofrequency fields, *Bioelectromagnetics* 32(7):511–34; 2011.

Kavet R, Tell RA, Olsen RG. Radiofrequency contact currents: sensory responses and dosimetry. *Radiat Protect Dosim* 162:268–279; 2014.

Kodera S, Hirata A, Funahashi D, Watanabe S, Jokela K, Croft RJ. Temperature rise for brief radio-frequency exposure below 6 GHz. *IEEE Access* 6:65737–65746; 2018.

Kowalczyk C, Yarwood G, Blackwell R, Priestner M, Sienkiewicz Z, Bouffler S, Ahmed I, Abd-Alhameed R, Excell P, Hodzic V, Davis C, Gammon R, Balzano Q. Absence of nonlinear responses in cells and tissues exposed to RF energy at mobile phone frequencies using a doubly resonant cavity. *Bioelectromagnetics* 31(7):556–565; 2010.

Laakso I, Morimoto R, Heinonen J, Jokela K, Hirata A. Human exposure to pulsed fields in the frequency range from 6 to 100 GHz. *Phys Med Biol* 62:6980–6992; 2017.

Mir LM. Application of electroporation gene therapy: past, current, and future. *Meth Molecular Biol* 423:3–17; 2008.

Mieusset R, Bujan L. Review: testicular heating and its possible contributions to male infertility. *Internat J Androl* 18:169–184; 1995.

Morimoto R, Hirata A, Laakso I, Ziskin M, Foster R. Time constants for elevation in human models exposed to dipole antenna and beams in the frequency range from 1 to 30 GHz. *Phys Med Biol* 62:1676–1699; 2017.

Nagaoka T, Watanabe S. Development of voxel models adjusted to ICRP reference children and their whole-body averaged SARs for whole-body exposure to electromagnetic fields from 10 MHz to 6 GHz. *IEEE Access*, in press.

Nguyen THP, Shamis Y, Croft RJ, Wood A, McIntosh RL, Crawford RJ, Ivanova EP. 18 GHz electromagnetic field induces permeability of Gram-positive cocci. *Nature: Scientific Reports* 16:10980; 2015.

Ramsey JD, Buford C, Beshir M, Jensen RC. Effects of workplace thermal conditions on safe work behavior. *J Safety Res* 14:105–114; 1983.

Reilly T, Atkinson G, Edwards B, Waterhouse J, Farrelly K, Fairhurst E. Diurnal variation in temperature, mental and physical performance, and tasks specifically related to football (soccer). *Chronobiol Internat* 24:507–519; 2007.

Sasaki K, Mizuno M, Wake K, Watanabe S. Monte Carlo simulations of skin exposure to electromagnetic field from 10 GHz to 1 THz. *Phys Med Biol* 62:6993–7010; 2017.

Saunders RD, Jefferys JG. A neurobiological basis for ELF guidelines. *Health Phys* 92:596–603; 2007.

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Opinion on potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). Luxembourg: European Commission; 2015.

ShafahiM, Vafai K. Human eye response to thermal disturbances. *J Heat Transfer* 133:011009–011009-7; 2011.

SSM. Recent research on EMF and health risk. Tenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Stockholm: Strålsäkerhetsmyndigheten; SSM Report 19; 2015.

SSM. Recent research on EMF and health risk. Eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Stockholm: Strålsäkerhetsmyndigheten; SSM Report 15; 2016.

SSM. Recent research on EMF and health risk. Twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Stockholm: Strålsäkerhetsmyndigheten; SSM Report 09; 2018.

Tell RA, Tell CA. Perspectives on setting limits for RF contact currents: a commentary. *Biomed Engineer Online* 17:2; 2018.

Teunissen LP, Grabowski A, Kram R. Effects of independently altering body weight and body mass on the metabolic cost of running. *J Experimental Biol* 210:4418–4427; 2007.

United Nations Environment Programme / World Health Organization/ International Radiation Protection Association. Electromagnetic fields (300 Hz to 300 GHz). Geneva: World Health Organization; Environmental Health Criteria 137; 1993.

Van den Heuvel AMJ, Haberley BJ, Hoyle DJR, Taylor NAS, Croft RJ. The independent influences of heat strain and dehydration upon cognition. *Euro J Appl Physiol* 117:1025–1037; 2017.

Van Rhoon GC, Samaras T, Yarmolenko PS, Dewhirst MW, Neufeld E, Kuster N. CEM43°C thermal dose thresholds: a potential guide for magnetic resonance radiofrequency exposure levels? *Euro Radiol* 23:2215–2227; 2013.

Walters TJ, Blick DW, Johnson LR, Adair ER, Foster KR. Heating and pain sensation produced in human skin by millimeter waves: comparison to a simple thermal model. *Health Phys* 78:259–267; 2000.

Weyand PG, Smith BR, Sandell RF. Assessing the metabolic cost of walking: the influence of baseline subtractions. In: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Minneapolis, MN: IEEE; 2009: 6878–6881.

World Health Organization. Constitution of the World Health Organization [online]. 1948. Available at https://www.who.int/governance/eb/who_constitution_en.pdf. Accessed 1 April 2019.

World Health Organization. Radiofrequency fields. Geneva: WHO; Public Consultation Document; 2014.

Yarmolenko PS, Moon EJ, Landon C, Manzoor A, Hochman DW, Viglianti BL, Dewhirst MW. Thresholds for thermal damage to normal tissues: an update. *International J Hyperthermia* 27:320–343; 2011.

Ziskin MC, Morrissey J. Thermal thresholds for teratogenicity, reproduction, and development. *International J Hyperthermia* 27:373–387; 2011.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΒΑΣΙΚΗ ΔΟΣΙΜΕΤΡΙΑ

Εισαγωγή

Το Παράρτημα Α παρέχει πρόσθετες πληροφορίες σε θέματα δοσιμετρίας, τα οποία σχετίζονται άμεσα με την εξαγωγή Περιορισμών της Έκθεσης σε RF-EMF και οι οποίοι Περιορισμοί αποτελούν την βάση των παρόντων Κατευθυντηρίων Οδηγιών. Όπως περιγράφεται στο κυρίως κείμενο, οι λειτουργικές επιβλαβείς επιπτώσεις στην υγεία οι οποίες προκύπτουν από τα πλέον χαμηλά επίπεδα Έκθεσης ραδιοσυχνοτήτων οφείλονται στην θέρμανση (η διέγερση των νεύρων περιγράφεται στις Κατευθυντήριες Οδηγίες χαμηλών συχνοτήτων της ICNIRP 2010).

Κατά συνέπεια, το Παράρτημα Α περιγράφει λεπτομερώς:

- την επιλογή των φυσικών μεγεθών τα οποία χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας στους Λειτουργικούς Ουδούς δυσμενών επιπτώσεων για την υγεία, όπως περιγράφονται στο κυρίως κείμενο,
- τις μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή αυτών των περιορισμών (συμπεριλαμβανομένης, κατά περίπτωση, της σχετικής αβεβαιότητας),
- τις χωρικές και χρονικές μεθόδους μέτρησης μέσης τιμής οι οποίες χρησιμοποιούνται για την απεικόνιση της αύξησης της θερμοκρασίας και,
- την εξαγωγή των ιδίων των **Βασικών Περιορισμών** και των **Επιπέδων Αναφοράς** (συμπεριλαμβανομένης, κατά περίπτωση, της σχετικής αβεβαιότητας).

Τα θεωρούμενα **Λειτουργικά Κατώφλια** επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία είναι:

- ✓ η αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος κατά 1°C για ολόσωμες εκθέσεις και
- ✓ η αύξηση της θερμοκρασίας σε τοπικές περιοχές κατά 5°C και 2°C για τους ιστούς Τύπου 1 και 2 αντίστοιχα⁷.

ΦΥΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΚΑΙ ΜΟΝΑΔΕΣ

Λεπτομερής περιγραφή των βασικών φυσικών μεγεθών, π.χ. **E**, **H**, **I**, **T** και **t** είναι δυνατόν να αναζητηθούν αλλού (βλ. ICNIRP 1985, 2009a, 2009, 2010). Στο Παράρτημα Α θα περιγραφούν λεπτομερώς τα υπόλοιπα φυσικά μεγέθη (π.χ., **SAR**, **SA**, **S_{inc}**, **S_{ab}**, **S_{eq}**, **U_{inc}**, **U_{ab}**, **U_{eq}**). Με **έντονο χρώμα (bold)** παρατίθενται τα διανυσματικά φυσικά μεγέθη.

Σημειώνεται ότι οι **Βασικοί Περιορισμοί** και τα **Επίπεδα Αναφοράς** ραδιοσυχνοτήτων βασίζονται στα χαμηλότερα επίπεδα Έκθεσης ραδιοσυχνοτήτων τα οποία μπορούν να προκαλέσουν βλαπτικές επιπτώσεις στην υγεία.

⁷ Τύπου 1 ιστοί αφορούν σε όλους τους ιστούς του άνω άκρου, στο αντιβράχιο, χέρι, μηρό, κνήμη, κάτω άκρο, πτερύγιο ωτός, κερατοειδής, πρόσθιο τμήμα και ίριδα οφθαλμού, επιδερμίδα, δέρμα, λίπος, μύες και οστικός ιστός. Ο ιστός Τύπου 2 αναφέρεται σε όλους τους ιστούς κεφαλής, κοιλίας, πλάτης, θώρακος και λεκάνης, εξαιρουμένων εκείνων οι οποίοι ορίζονται ως ιστοί Τύπου 1.

Δεδομένου ότι οι επιπτώσεις στην υγεία σχετίζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας η οποία προκαλείται από την Έκθεση, αυτές καθορίζονται από την Ενέργεια ή την Ισχύ της ραδιοκυματικής Έκθεσης.

Επομένως, οι τετραγωνικές τιμές των \mathbf{E} , \mathbf{H} και \mathbf{I} λαμβάνονται υπ' όψιν για την χρονική ή χωρική ολοκλήρωση ή όπου εφαρμόζεται άθροισμα πολλαπλών συχνοτήτων.

Η ακόλουθη εξίσωση είναι ένα παράδειγμα χωρικής ολοκλήρωσης της Έντασης \mathbf{E} του Ηλεκτρικού Πεδίου για έναν όγκο V :

$$E_{spatial_average} = \sqrt{\frac{1}{V} \int_v |\mathbf{E}|^2 dv} \quad (8)$$

Όπου V ορίζεται ο όγκος ολοκλήρωσης ($V = \int_v dv$).

Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης Ενέργειας - Specific Energy Absorption Rate (SAR) και Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας - Specific Energy Absorption (SA)

Το **SAR** ορίζεται ως η χρονική παράγωγος της σταδιακής κατανάλωσης ενέργειας από την θερμότητα, δW , απορροφώμενη ή διαχεόμενη σε μια στοιχειώδη μάζα, δm , η οποία εμπεριέχεται σε ένα στοιχειώδη όγκο δV , μιας δεδομένης πυκνότητας μάζας του ιστού ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), ρ , και εκφράζεται σε Watt ανά χιλιόγραμμα ($\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$):

$$SAR = \frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\delta W}{\delta m} \right) = \frac{\delta}{\delta t} \left(\frac{\delta W}{\rho \delta V} \right) \quad (9)$$

Οι βιολογικοί ιστοί και όργανα θεωρούνται γενικά ως διηλεκτρικά υλικά (τα οποία υφίστανται διηλεκτρικές απώλειες) και μαγνητικά διαφανή, επειδή η σχετική μαγνητική διαπερατότητα (μ_r) είναι 1. Επομένως, το **SAR** ορίζεται συνήθως από την ακόλουθη εξίσωση:

$$SAR = \frac{\sigma |\mathbf{E}|^2}{\rho} \quad (10)$$

όπου σ είναι η αγωγιμότητα ($\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$) και \mathbf{E} είναι το εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο (τιμή μέσης τιμής τετραγωνικής ρίζας - rms).

Η αύξηση της θερμοκρασίας συσχετίζεται ισχυρά με το **SAR**. Υπό συνθήκες όπου η απώλεια θερμότητας (λόγω διεργασιών όπως η αγωγή (conduction)) δεν είναι σημαντική, το **SAR** και η αύξηση της θερμοκρασίας σχετίζονται άμεσα μέσω της εξίσωσης (11):

$$SAR = C \frac{dT}{dt} \quad (11)$$

όπου το C είναι ειδική θερμική χωρητικότητα ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) του ιστού, T είναι θερμοκρασία ($^\circ\text{C}$) και t είναι η χρονική διάρκεια της Έκθεσης (sec).

Για περισσότερο ρεαλιστικές περιπτώσεις, μεγάλη ποσότητα θερμικής ενέργειας διαχέεται ταχύτατα κατά την διάρκεια της Έκθεσης. Επομένως, η εξίσωση (11) δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί σε σενάρια Έκθεσης της καθημερινής πρακτικής στον

άνθρωπο. Ωστόσο, η εξίσωση (11) είναι χρήσιμη για σενάρια βραχείας Έκθεσης, όπου η απώλεια θερμότητας δεν είναι σημαντική.

Το **SAR** χρησιμοποιείται ως **Βασικός Περιορισμός** των Εκθέσεων στις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες. Οι **Βασικοί Περιορισμοί SAR** ορίζονται ως οι χωρικές μέσες τιμές (spatially averaged values), δηλαδή, ως το Ολόσωμο Μέσο **SAR** και το **SAR_{10g}**.

Το Ολόσωμο Μέσο **SAR** είναι η συνολική Ισχύς η οποία απορροφάται σε ολόκληρο το σώμα διαιρούμενη με την μάζα του σώματος:

$$\text{Whole – body average SAR} = \frac{(\text{Total power})_{WB}}{(\text{Total mass})_{WB}} = \frac{[\int_{WB} \sigma |\mathbf{E}|^2 dv]_{WB}}{\int_{WB} \rho dv} \quad (12)$$

Το **SAR_{10g}** ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής Ισχύος η οποία απορροφάται σε κυβικό όγκο 10 g διαιρούμενο με 10 g (βλ. Ενότητα “Εκτιμήσεις Χωρικών Μεσοσταθμικών Τιμών (Spatial Averaging Considerations)”

$$\text{SAR}_{10g} = \frac{(\text{Total power})_{V_{10g}}}{(\text{Total mass})_{V_{10g}}} = \frac{[\int_{V_{10g}} \sigma |\mathbf{E}|^2 dv]_{V_{10g}}}{\int_{V_{10g}} \rho dv} \quad (13)$$

Ο όγκος των 10 g (V_{10g}) υπολογίζεται ως κύβος περίπου 2,15 cm x 2,15 cm x 2,15 cm, με την προϋπόθεση ότι ο ιστός έχει την ίδια πυκνότητα μάζας με το ύδωρ, ή 1.000 kg.m⁻³.

Το φυσικό μέγεθος Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας ($\frac{\delta W}{\rho \delta V}$) - **SA** (J*m⁻³) ορίζεται ως η χρονική ολοκλήρωση του **SAR**, για χρόνους από t_1 έως t_2 :

$$\text{Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας: SA} = \int_{t_1}^{t_2} \text{SAR}(t) dt \quad (14)$$

Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος - Absorbed Power Density (S_{ab}**) και Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας - Absorbed Energy Density (**U_{ab}**)**

Το **SAR_{10g}** δεν είναι πλέον η κατάλληλη παράμετρος προσδιορισμού της αύξησης της τοπικής θερμοκρασίας σε συχνότητες άνω των 6 GHz. Επομένως, οι Απορροφώμενες Πυκνότητες Ισχύος και Ενέργειας εισάγονται στις Κατευθυντήριες Οδηγίες για τους **Βασικούς Περιορισμούς** σε αυτές τις συχνότητες, όπου η απορρόφηση ραδιοκυματικής ισχύος ή ενέργειας περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό, σε πολύ επιφανειακές περιοχές του σώματος.

Για παράδειγμα, τα βάθη διείσδυσης είναι περίπου 8,1 mm και 0,23 mm στα 6 GHz και 300 GHz, αντίστοιχα (βλ. επίσης Πίνακα 10).

Η Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (W.m⁻²) (**S_{ab}**) ορίζεται για επιφάνεια σώματος ως εξής:

$$\begin{aligned} &\text{Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος – } S_{ab} \\ &= \int \int_A dx dy \int_0^{z_{max}} \rho(x, y, z) * \mathbf{SAR}(x, y, z) \frac{dz}{A} \quad (15) \end{aligned}$$

όπου η επιφάνεια του σώματος ορίζεται για $z = 0$, το A ορίζεται ως η περιοχή μέτρησης (σε m^2) και το Z_{max} ορίζεται ως το βάθος του σώματος στην αντίστοιχη περιοχή. Όπου το Z_{max} είναι πολύ μεγαλύτερο από το βάθος διείσδυσης, τότε το άπειρο μπορεί να αντικαταστήσει το Z_{max} .

Θεωρώντας την διάχυση της θερμότητας, ορίζεται μια τετραγωνική περιοχή διαστάσεων $2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$ (από 6 έως 300 GHz) για την περιοχή λήψης της μεσοσταθμικής τιμής των **Βασικών Περιορισμών** της Απορροφώμενης Ισχύος και της Πυκνότητας Ενέργειας.

Μια περισσότερο αυστηρή εξίσωση για την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (S_{ab}) βασίζεται στο διάνυσμα Poynting (S):

$$S_{ab} = \int \int_A \text{Re}[\mathbf{S}] * ds/A = \int \int_A \text{Re}[\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*] * ds/A \quad (16)$$

όπου $\text{Re}[X]$ και X^* είναι το πραγματικό και το μιγαδικό μέρος (complex conjugate) αντίστοιχα, μιας μιγαδικής (complex) τιμής "X", το ds είναι το διάνυσμα της ακέραιας μεταβλητής, με την διεύθυνση κάθετη στην περιοχή ολοκλήρωσης A της επιφάνειας του σώματος.

Παρόμοια με την σχέση μεταξύ **SAR** και **SA**, η Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας U_{ab} εξάγεται ως η χρονική ολοκλήρωση της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος (S_{ab}) ($J \cdot m^{-2}$):

$$\text{Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας: } U_{ab} = \int_{t_1}^{t_2} S_{ab}(t) dt \quad (17)$$

Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος - Incident Power Density (S_{inc}) και Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ενέργειας - Incident Energy Density (U_{inc})

Οι Προσπίπτουσες Πυκνότητες Ισχύος και Ενέργειας χρησιμοποιούνται ως **Επίπεδα Αναφοράς** στις Κατευθυντήριες Οδηγίες.

Η Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}) ορίζεται ως το μέτρο του μιγαδικού διανύσματος Poynting:

$$\text{Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος: } S_{inc} = |\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*| \quad (18)$$

Στην περίπτωση του μακρινού πεδίου ή εγκάρσιου επίπεδου κύματος ηλεκτρομαγνητικού πεδίου (transverse electromagnetic (TEM) plane wave), η Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος ορίζεται ως:

$$\text{Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος: } S_{inc} = \frac{|\mathbf{E}|^2}{Z_0} = Z_0 |\mathbf{H}|^2 \quad (19)$$

όπου το Z_0 είναι η χαρακτηριστική αντίσταση (impedance) του ελεύθερου χώρου, δηλαδή, 377 Ω. Η εξίσωση (19) χρησιμοποιείται επίσης για την αξιολόγηση της Προσπίπτουσας Ισοδύναμης Πυκνότητας Ισχύος Επιπέδου Κύματος (Seq).

Η Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}) σχετίζεται με την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (S_{ab}) χρησιμοποιώντας τον συντελεστή ανάκλασης Γ :

$$\text{Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος: } S_{ab} = (1 - |\Gamma|^2)S_{inc} \quad (20)$$

Ο συντελεστής ανάκλασης (Γ) εξαρτάται από:

- ✓ τις διηλεκτρικές ιδιότητες των ιστών,
- ✓ την διαμόρφωση της επιφάνειας του σώματος,
- ✓ την γωνία από την οποία εισέρχεται η δέσμη (incident angle) και
- ✓ την πόλωση.

Παρομοίως με την σχέση μεταξύ SAR και SA, η Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ενέργειας U_{inc} ορίζεται ως η χρονική ολοκλήρωση της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ισχύος S_{inc} για τα χρονικά διαστήματα t_1 έως t_2 :

$$\text{Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ενέργειας: } U_{inc} = \int_{t_1}^{t_2} S_{inc}(t)dt \quad (21)$$

Σε σενάρια Έκθεσης κοντινού πεδίου, οι συνιστώσες του διανύσματος Poynting δεν είναι πραγματικές τιμές, αλλά μιγαδικές. Σε τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να απαιτείται μία λεπτομερής διερεύνηση των συνιστωσών του διανύσματος Poynting για τον υπολογισμό της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ισχύος την σχετιζόμενη με την ασφάλεια των ραδιοσυχνοτήτων.

ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΒΙΟΦΥΣΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ

Εξειδικεύσεις Ολόσωμης Μέσης Έκθεσης

Σχετικό Φυσικό Μέγεθος

Οι επιπτώσεις στην υγεία λόγω της ολόσωμης Έκθεσης σχετίζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας στην κεντρική περιοχή του σώματος. Εντούτοις, είναι δύσκολο να προβλεφθεί η αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας του σώματος, με βάση την έκθεση στις RF-EMF.

Η κεντρική θερμοκρασία του σώματος εξαρτάται από το ολόσωμο θερμικό ισοζύγιο. Η ραδιοκυματική ενέργεια η οποία απορροφάται από το σώμα μεταφέρεται σε βαθύτερα όργανα του σώματος μέσω της ροής του αίματος, η οποία είναι δυνατόν να ενεργοποιήσει θερμορυθμιστικές αποκρίσεις με σκοπό την διατήρηση της κεντρικής θερμοκρασίας (Adair και Black 2003). Αυτό σημαίνει ότι ο χρονικός ρυθμός μεταβολής του ενεργειακού ισοζυγίου, είναι σημαντικός για την δυναμική της

κεντρικής θερμοκρασίας (temperature dynamics). Κατά συνέπεια, το Ολόσωμο Μέσο SAR, χρησιμοποιείται ως το φυσικό μέγεθος το συνδεδεμένο με την αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας του σώματος.

Η σχέση μεταξύ της συνολικής απορροφώμενης ενέργειας και της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος είναι γενικά ανεξάρτητη από την συχνότητα. Ωστόσο, σε συχνότητες υψηλότερες μερικών GHz, η κεντρική θερμοκρασία σώματος δεν αυξάνεται όσο θα αυξανόταν το Ολόσωμο Μέσο SAR για όλο το σώμα σε χαμηλότερες συχνότητες. Αυτό συμβαίνει λόγω της μεγαλύτερης μεταφοράς θερμότητας από την επιφάνεια του σώματος στον αέρα μέσω απαγωγής (convection) ή ακτινοβολίας, οι οποίες συμπεριλαμβάνουν και το φαινόμενο της αγγειοδιαστολής του δέρματος (Hirata et al. 2013). Η απορρόφηση ισχύος περιορίζεται κυρίως στους επιφανειακούς ιστούς του δέρματος όπου η τοπική αύξηση της θερμοκρασίας είναι περισσότερο σημαντική από την αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος (Laakso and Hirata 2011).

Ωστόσο, έχει επίσης αναφερθεί ότι η Έκθεση στην υπέρυθρη ακτινοβολία (infrared radiation-IR) είναι δυνατόν να προκαλέσει σημαντική αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας του σώματος (Brockow et al. 2007). Η υπέρυθρη ακτινοβολία αφορά σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα συχνοτήτων μεταξύ των RF-EMF και του ορατού φωτός (300 GHz – 400 THz). Αυτό σημαίνει ότι, παρά το γεγονός ότι το βάθος διείσδυσης της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι πολύ μικρό ή συγκρίσιμο με το αντίστοιχο βάθος των υψηλών GHz RF-EMF (ή mmWaves), είναι ακόμη πιθανόν, η Έκθεση στην υπέρυθρη ακτινοβολία να αυξήσει σημαντικά την κεντρική θερμοκρασία σώματος.

Για συντηρητικούς λόγους συνεπώς, η ICNIRP θέτει ίσα ολόσωμα μέσα όρια για συχνότητες τόσο άνω όσο και κάτω από τα 6 GHz. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για περιπτώσεις Έκθεσης με πολλαπλές συχνότητες τόσο υψηλότερων όσο και χαμηλότερων συχνοτήτων. Τοιουτοτρόπως, η εφαρμοζόμενη συχνότητα ορίζεται ως ολόκληρο το εύρος συχνοτήτων το οποίο εξετάζονται στις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες.

Πίνακας 10. Βάθος διείσδυσης στον ανθρώπινο δερματικό ιστό (δέρμα), για συχνότητες από 6 έως 300 GHz.

Συχνότητα (GHz)	Σχετική Επιτρεπτότητα (Relative permittivity)	Αγωγιμότητα (Conductivity) (S/m)	Βάθος διείσδυσης (mm)
6	36,0	04,0	8,10
10	33,0	07,9	3,90
30	18,0	27,0	0,92
60	10,0	40,0	0,49
100	07,3	46,0	0,35
300	05,0	55,0	0,23

Εκτιμήσεις Μέσων Χρονικών Τιμών (Temporal averaging considerations)

Ο ορισμός της 'σταθεράς χρόνου' για την κεντρική θερμοκρασία σώματος δεν είναι σαφής. Ωστόσο, υπό απλουστευμένες συνθήκες οι οποίες μπορούν να παράγουν μια

λογική εκτίμηση της σταθεράς χρόνου (π.χ., υποθέτοντας καθυστέρηση πρώτης τάξης (first order lag)), η δυναμική της θερμοκρασίας δύναται να περιγραφεί ως εξής:

$$T(t) = T_0 + (T_\infty - T_0) \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (22)$$

όπου T είναι η θερμοκρασία ως συνάρτηση του χρόνου t , T_0 και T_∞ είναι οι θερμοκρασίες αρχικής και σταθερής κατάστασης αντίστοιχα και τ είναι η σταθερά χρόνου.

Σε αυτήν την περίπτωση, η σταθερά χρόνου αντιστοιχεί στο χρόνο ο οποίος απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 63 %, του διαστήματος από την αρχική της τιμή έως την θερμοκρασία σταθερής κατάστασης. Στις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες, ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την επίτευξη του 80-90% της θερμοκρασίας ισορροπίας, από την αρχική θερμοκρασία, χρησιμοποιείται ως Κατευθυντήρια Οδηγία. Αυτός αντιστοιχεί σε σχεδόν δύο φορές την σταθερά χρόνου στην εξίσωση (22). Επιπλέον, ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την επίτευξη της κεντρικής θερμοκρασίας της σταθερής κατάστασης εξαρτάται από το ύψος του θερμικού φορτίου, το οποίο στην περίπτωση αυτή συνδέεται με το Ολόσωμο Μέσο SAR.

Hirata et al. (2007), προσομοίωσαν μαθηματικά την αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας ενός γυμνού σώματος, το οποίο εκτίθεται σε ένα επίπεδο κύμα συχνότητας 65 MHz και 2 GHz. Παρατήρησαν ότι και στις δύο περιπτώσεις απαιτήθηκαν τουλάχιστον 60 min Έκθεσης για να αυξηθεί η κεντρική θερμοκρασία σώματος κατά 1°C για Ολόσωμο Μέσο SAR 6 έως 8 W.kg⁻¹. Αυτό το χρονικό διάστημα εξαρτάται επίσης από τον ρυθμό εφίδρωσης, όπου με έντονη εφίδρωση η απαιτούμενη χρονική διάρκεια της Έκθεσης αυξάνεται κατά 40 - 100 min (Hirata et al. 2008; Nelson et al. 2013). Επομένως, ο χρόνος επίτευξης της θερμοκρασίας σταθερής κατάστασης λόγω της ολόσωμης Έκθεσης σε RF-EMF κάτω των 6 GHz είναι 30 min ή περισσότερο.

Όπως περιγράφεται ως άνω, η απορροφώμενη ισχύς περιορίζεται κυρίως στους επιφανειακούς ιστούς για συχνότητες άνω των 6 GHz (βλ. Πίνακα 10). Συνεπώς, ο θερμορυθμιστικές λειτουργίες εκκινούν από την αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος και όχι από την αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος. Ωστόσο, ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την αύξηση της θερμοκρασίας έως μία σταθερή κατάσταση δεν επηρεάζεται σημαντικά από αυτό το γεγονός και συμπερασματικά, δεν λαμβάνεται υπ' όψιν. Είναι επομένως λογικό να διατηρείται ίδιος ο μέσος χρόνος άνω των 6 GHz όπως και κάτω από 6 GHz, καθώς δεν υπάρχει ποσοτική διερεύνηση της σταθεράς χρόνου της κεντρικής θερμοκρασίας του σώματος, άνω των 6 GHz.

Αναγκαίο Ολόσωμο Μέσο SAR, για την Αύξηση της Κεντρικής Θερμοκρασίας Σώματος κατά 1 °C

Οι θερμορυθμιστικές λειτουργίες ενεργοποιούνται εάν ένα ανθρώπινο σώμα εκτίθεται σε σημαντικό φορτίο θερμότητας, το οποίο συχνά έχει ως αποτέλεσμα μη-γραμμική σχέση μεταξύ του Ολόσωμου Μέσου SAR και της αύξησης της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος.

Οι Adair et al. ερεύνησαν πειραματικά την κεντρική θερμοκρασία σώματος, (μετρώντας την θερμοκρασία του οισοφάγου), κατά την διάρκεια ολόσωμης Έκθεσης.

Παρατήρησαν πολύ μικρές έως ανύπαρκτες αυξήσεις της θερμοκρασίας του οισοφάγου ($< 0,1^{\circ}\text{C}$) κατά την διάρκεια ολόσωμης Έκθεσης, στα 100 MHz, 220 MHz και 2450 MHz, με Ολόσωμο Μεσοσταθμικό SAR το οποίο κυμαινόταν από 0,54 έως $1,0 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ υπό κανονικές συνθήκες περιβαλλοντικής θερμοκρασίας, 24°C έως 28°C (Adair et al. 2001, 2003, 2005).

Ανέφεραν επίσης, μια σχετικά υψηλή αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας του σώματος ($0,35^{\circ}\text{C}$) για Ολόσωμο Μέσο SAR στα 220 MHz, $0,675 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ σε υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος (31°C). Ωστόσο αυτή η αύξηση παρατηρήθηκε σε ένα μόνο άτομο, ενώ ο μέσος όρος της αύξησης της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος (6 άτομα) δεν ήταν αισθητός.

Δεν υπάρχουν δεδομένα σχετικά με την αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος για ολόσωμη Έκθεση σε RF-EMF άνω των 6 GHz. Τα μόνα διαθέσιμα δεδομένα αφορούν στην υπέρυθρη ακτινοβολία (Brockow et al. 2007). Η συντηρητική προσέγγιση για ολόσωμη έκθεση σε υψηλότερες συχνότητες συζητείται στο κυρίως κείμενο.

Υπάρχουν δύο κύριοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος λόγω Έκθεσης σε ραδιοσυχνότητες: η εφίδρωση και ο λόγος μάζας προς επιφάνεια του σώματος (mass-to-body surface ratio)

Η απώλεια θερμότητας μέσω της εξάτμισης λόγω της εφίδρωσης, μειώνει αποτελεσματικά την θερμοκρασία της κεντρικής περιοχής του σώματος και πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν κατά την εκτίμηση της αύξησης της θερμοκρασίας την οφειλόμενη στα RF-EMF.

Για παράδειγμα, οι Hirata et al. (2007) ανέφεραν ότι απαιτούνται $4,5 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ για την αύξηση της θερμοκρασίας της κεντρικής θερμοκρασία σώματος κατά 1°C , για ένα άτομο με χαμηλότερο ρυθμό εφίδρωσης, όπως είναι ένα ηλικιωμένο άτομο, ενώ $6 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ απαιτείται για ένα άτομο με κανονικό ρυθμός εφίδρωσης. Η μείωση του ρυθμού εφίδρωσης στους ηλικιωμένους οφείλεται κυρίως στην έκπτωση της θερμικής αίσθησης (thermal sensation) (Dufour and Candas, 2007).

Ομοίως, η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ της επιφάνειας του σώματος και του εξωτερικού αέρα είναι πολύ σημαντική. Οι Hirata et al. (2009) διεπίστωσαν ότι η θερμοκρασία σταθερής κατάστασης της κεντρικής περιοχής του σώματος αυξάνεται, εξαιτίας της ολόσωμης Έκθεσης σε RF-EMF, ανάλογα με τον λόγο της (ολόσωμης) απορροφώμενης ισχύος προς την επιφάνεια του σώματος. Ο λόγος της μάζας προς την επιφάνεια είναι μικρότερος για σώματα μικρότερης διάπλασης όπως τα παιδιά, και συμπερασματικά, απαιτείται υψηλότερο Μέσο SAR για να αυξηθεί η κεντρική θερμοκρασία σώματος.

Αυτό συμπίπτει με την διαπίστωση ότι τα άτομα μικρότερης σωματικής διάπλασης έχουν χαμηλότερη αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος, για το ίδιο Ολόσωμο Μέσο SAR. Για παράδειγμα, οι Hirata et al. (2008) αξιολόγησαν μαθηματικά, την αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας του σώματος σε παιδικά ομοιώματα ηλικίας 8 μηνών και 3 ετών και διαπίστωσαν ότι οι αυξήσεις της κεντρικής θερμοκρασίας του σώματος ήταν κατά 35% χαμηλότερες από τις αντίστοιχες ενός

ενήλικου θηλυκού ομοιώματος για το ίδιο Ολόσωμο Μέσο SAR. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η υψηλότερη αναλογία της επιφάνειας σώματος ενός παιδιού προς την μάζα του σώματος, είναι ο λόγος για περισσότερο αποτελεσματική ψύξη η οποία προκύπτει από την απώλεια θερμότητας στο περιβάλλον.

Κατά συνέπεια, η αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος σε ένα παιδί είναι μικρότερη, σε σχέση με την αντίστοιχη ενός ενήλικα με το ίδιο Ολόσωμο Μέσο SAR.

Αντιμετωπίζοντας το ζήτημα ευρύτερα, η θεωρητική μοντελοποίηση / εξομοίωση και γενίκευση από πειραματικές έρευνες σε μία σειρά ειδών, έδειξε ότι εντός της περιοχής 100 kHz έως 6 GHz, οι ολόσωμες μέσες τιμές SAR για τουλάχιστον 6 W.kg⁻¹, χρονικής διάρκειας τουλάχιστον 1 h, υπό σχετικά υψηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος (28°C), είναι κατάλληλες για την αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος κατά 1°C για υγιείς ενήλικες και παιδιά (Hirata et al. 2013), και τουλάχιστον 4,5 W για εκείνους οι οποίοι εμφανίζουν χαμηλότερο ρυθμό εφίδρωσης, όπως οι ηλικιωμένοι (Hirata et al. 2007).

Εκτιμήσεις Έκθεσης Εμβρύου

Ο κύριος θερμορυθμιστικός μηχανισμός για ένα έμβρυο είναι η ανταλλαγή θερμότητας του κεντρικού σώματός του με την μητέρα, μέσω της ροής του αίματος δια του ομφάλιου λώρου. Η θερμοκρασία του εμβρύου επομένως ελέγχεται αυστηρά από την θερμοκρασία της μητέρας και απαιτείται περισσότερος χρόνος για να επιτευχθεί θερμική ισορροπία σε σχέση με τους ενήλικες (Gowland and De Wilde 2008). Η κεντρική θερμοκρασία σώματος του εμβρύου είναι συνήθως 0,5°C υψηλότερη σε σχέση με αυτήν της μητέρας (Asakura 2004).

Αυτή η σχέση δεν μεταβάλλεται σημαντικά εάν η μητέρα εκτεθεί σε RF-EMF κατά την κύηση 26 εβδομάδων, όπως ανέφεραν οι Hirata et al. (2014). Στο εύρος συχνοτήτων από 40 MHz έως 500 MHz, οι ίδιοι υπολόγισαν την θερμοκρασία του εμβρύου σε σταθερή κατάσταση, λαμβάνοντας υπ' όψιν την θερμική ανταλλαγή μεταξύ της μητέρας και αυτού, και ανέφεραν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του εμβρύου ήταν μόνο 30% υψηλότερη από αυτήν της μητέρας, ακόμη και όταν η απορροφώμενη ισχύς επικεντρωνόταν στο έμβρυο.

Σε χαμηλότερες συχνότητες, η κατανομή του SAR γίνεται περισσότερο ομοιογενής λόγω του μεγαλύτερου μήκους κύματος και του βάθους διείσδυσης, με αποτέλεσμα να παρατηρείται περισσότερο ομοιογενής αύξηση της ολόσωμης θερμοκρασίας της μητέρας και του εμβρύου. Σε υψηλότερες συχνότητες, η κατανομή του SAR γίνεται περισσότερο επιφανειακή, λόγω του μικρότερου βάθους διείσδυσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα:

- μικρότερη τιμή του SAR του εμβρύου (embryo⁸) (ή του “φέτους” - fetus⁹), επειδή γενικώς ευρίσκεται στην βαθύτερη περιοχή της κοιλίας της μητέρας, καθώς επίσης,
- μικρότερη τιμή του ολόσωμου SAR για το μεγαλύτερο σε ηλικία κύημα, το “φέτους”, καθώς το μέγεθός του είναι μεγαλύτερο από το βάθος διείσδυσης.

⁸ Στα αρχικά στάδια της εγκυμοσύνης, στα οποία αναπτύσσονται τα όργανα, έως και την 9^η εβδομάδα.

⁹ Από την 10^η εβδομάδα έως την γέννα.

Αυτό υποδηλώνει ότι η ολόσωμη Έκθεση της μητέρας σε RF-EMF θα έχει ως αποτέλεσμα μια παρόμοια αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος του εμβρύου, ακόμη και σε συχνότητες εκτός αυτών οι οποίες διερευνήθηκαν από την παρούσα μελέτη.

Από αυτό προκύπτει ότι αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος της μητέρας από τα RF-EMF θα οδηγήσει σε μία παρόμοια αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας του εμβρύου. Κατά συνέπεια, Έκθεση στο επίπεδο του **Βασικού Περιορισμού** του επαγγελματικού Ολόσωμου Μέσου **SAR** θα έχει ως αποτέλεσμα την παρόμοια αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος της μητέρας και του εμβρύου.

Επομένως, για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του εμβρύου στο επίπεδο το οποίο απαιτείται για τον γενικό πληθυσμό, μια έγκυος γυναίκα θεωρείται μέλος του γενικού πληθυσμού ως προς τον **Βασικό Περιορισμό** του Ολόσωμου Μέσου **SAR**.

Η απόφαση της ICNIRP για το επαγγελματικό Ολόσωμο Μέσο **SAR** για εγκύους είναι σε σημαντικό βαθμό συντηρητική σε σύγκριση με τον διαπιστωμένο κατώφλι θερμοκρασίας για την πρόκληση εμβρυϊκής τερατογένεσης (2°C: Edwards et al. 2003; Ziskin και Morrissey 2011).

Η ICNIRP αναγνωρίζει επίσης ότι η κεντρική θερμοκρασία σώματος του εμβρύου, ειδικά κατά την διάρκεια του πρώτου σταδίου κύησης (ή στάδιο εμβρυϊκής ανάπτυξης), δεν είναι σαφώς καθορισμένη και συνεπώς δεν υπάρχουν άμεσες αποδείξεις ότι η επαγγελματική ολόσωμη Έκθεση της εγκύου εργαζομένης θα βλάψει το κύημα. Αναγνωρίζεται επομένως ότι η απόφαση να αντιμετωπίζεται μια έγκυος εργαζόμενη ως μέλος του γενικού πληθυσμού είναι συντηρητική.

Η ICNIRP σημειώνει επίσης ότι υπάρχουν ορισμένες τεχνικές μείωσης οι οποίες μπορούν να αξιολογηθούν, προκειμένου να επιτρέψουν σε έγκυες εργαζόμενες να εισέρχονται σε περιοχές όπου τα RF-EMF ευρίσκονται στα επίπεδα επαγγελματικής Έκθεσης, χωρίς να υπερβαίνουν τους Περιορισμούς του γενικού πληθυσμού.

Για παράδειγμα, εντός ενός χρονικού διαστήματος των 30 min, μια έγκυος εργαζόμενη θα μπορούσε να ευρίσκεται σε μια περιοχή στο επίπεδο Περιορισμού της επαγγελματικής Έκθεσης για 6 min, υπό την προϋπόθεση ότι το Μέσο **SAR** για 30 min (χρονικό διάστημα το οποίο περιλαμβάνει το εν λόγω διάστημα των 6 min) δεν υπερβαίνει τους Περιορισμούς του γενικού πληθυσμού.

Κατά την εξέταση τέτοιων τεχνικών μείωσης, οι Περιορισμοί Τοπικής Έκθεσης για την έγκυο εργαζόμενη είναι επίσης σημαντικοί και περιγράφονται στην παράγραφο “Εκτιμήσεις Έκθεσης εμβρύου” στις ενότητες “Εξειδικεύσεις Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (100 kHz έως 6 GHz)” και “Εξειδικεύσεις Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (από > 6 GHz έως 300 GHz)”.

Εξειδικεύσεις Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (100 kHz έως 6 GHz)

Σχετικό Φυσικό Μέγεθος

Για περιπτώσεις τοπικής Έκθεσης σε RF-EMF, η θερμοκρασία είναι δυνατόν να αυξηθεί σε τοπικές περιοχές του σώματος, χωρίς να μεταβληθεί η κεντρική

θερμοκρασία σώματος. Επομένως, η τοπική αύξηση της θερμοκρασίας πρέπει επίσης να περιοριστεί. Η μέγιστη τοπική αύξηση της θερμοκρασίας εμφανίζεται γενικά στην επιφάνεια του σώματος και το τοπικό SAR θεωρείται μία χρήσιμη αντιπροσωπευτική ένδειξη της τοπικής αύξησης της θερμοκρασίας λόγω τοπικής Έκθεσης σε RF-EMF.

Ωστόσο, άλλοι παράγοντες, όπως η ένδυση, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και η φυσιολογία του οργανισμού, είναι δυνατόν να έχουν μεγαλύτερη επίδραση στην τοπική θερμοκρασία από ότι το ίδιο το SAR.

Ως συχνότητα μετάβασης (transition) μεταξύ της τοπικής τιμής του SAR και της χωρικά Μέσης Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος επιλέγεται η 6 GHz (Funahashi et al. 2018). Αυτό αποφασίστηκε ως πρακτικός συμβιβασμός, κατάλληλος για τις συνθήκες οι οποίες σχετίζονται με την χωρική και χρονική μεσοσταθμική τιμή, όπως περιγράφεται στις ακόλουθες ενότητες, καθώς δεν υπάρχει βέλτιστη διακριτή συχνότητα για αυτήν την μετάβαση.

Για συχνότητες χαμηλότερες από την συχνότητα μετάβασης, το SAR ορίζεται ως η παράμετρος για την ταυτόχρονη προστασία τόσο των εσωτερικών ιστών (π.χ. εγκεφάλου) όσο και του δέρματος, όπως εξηγείται στην ενότητα “Εκτιμήσεις Χωρικών Μεσοσταθμικών Τιμών (Spatial Averaging Considerations)”.

Σε υψηλότερες συχνότητες (ειδικά άνω των 10 GHz), η Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος χρησιμοποιείται ως το φυσικό μέγεθος το οποίο περιγράφει την μέγιστη αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος.

Εκτιμήσεις Χωρικών Μεσοσταθμικών Τιμών

Διάφορα είδη μορφών (π.χ. κύβος, σφαίρα, συνεχιζόμενος ιστός) και μαζών έχουν αποτιμηθεί σε σχέση με την ικανότητά τους να προβλέψουν την αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας (Hirata and Fujiwara 2009; McIntosh and Anderson 2011). Αποδείχθηκε ότι η επίδραση του μεγέθους της μάζας μέτρησης είναι περισσότερο κρίσιμη από ότι το σχήμα του όγκου μέτρησης και ότι το SAR ποικίλλει ανάλογα με τις διάφορες διαμορφώσεις μέτρησης, κατά έναν συντελεστή περίπου ίσο με 2 (Hirata et al. 2006).

Έχει επίσης δειχθεί ότι η μεσοσταθμική τιμή του SAR σε έναν μόνο ιστό, παρέχει σχετικά χειρότερη συσχέτιση με την τοπική θερμοκρασία από ότι αυτή για πολλούς ιστούς, επειδή η θερμότητα η οποία παράγεται στον βιολογικό ιστό μπορεί να διαχέεται έως και μερικά εκατοστά (δηλαδή, διαμέσου πολλών τύπων ιστών). Κατά συνέπεια, μια κυβική μάζα 10 g, συμπεριλαμβάνοντας όλους τους ιστούς, χρησιμοποιείται ως κατάλληλη χωρική παράμετρος για μεσοσταθμικές μετρήσεις και για συχνότητες έως 6 GHz. Αυτή η μετρική παράμετρος έχει αποδειχθεί ότι ισχύει ακόμη και για Έκθεση επίπεδων κυμάτων, καθώς η τοπική αύξηση της θερμοκρασίας στην κεφαλή, στον κορμό και τα άκρα, συσχετίζεται με SAR όταν χρησιμοποιείται αυτή η μάζα μέτρησης (Razmadze et al. 2009; Bakker et al. 2011, Hirata et al. 2013).

Εκτιμήσεις Χρονικών Μεσοσταθμικών Τιμών (Temporal Averaging Considerations)

Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την επίτευξη της θερμοκρασίας σταθερής κατάστασης, δεδομένης της ισορροπίας μεταξύ του ρυθμού απόθεσης

ραδιοκυματικής ισχύος από την μία πλευρά και διάχυσης θερμότητας και αγωγής από την άλλη, χαρακτηρίζεται από την σταθερά χρόνου της αύξησης της θερμοκρασίας. Η σταθερά χρόνου εξαρτάται κυρίως από την μεταφορά θερμότητας λόγω ροής αίματος και την θερμική αγωγή (thermal conduction).

Οι Van Leeuwen et al. (1999), Wang και Fujiwara (1999), και Bernardi et al. (2000) αναφέρουν ότι ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την επίτευξη του 80-90% της αύξησης της θερμοκρασίας σταθερής κατάστασης, για το εύρος συχνοτήτων 800 MHz - 1,9 GHz, είναι 12 - 16 min. Αυτές οι Κατευθυντήριες Οδηγίες επιλέγουν τα 6 min ως κατάλληλος συντηρητικός μέσος χρόνος για την αύξηση της θερμοκρασίας σταθερής κατάστασης έως και 6 GHz για τοπικές εκθέσεις.

Απαιτούμενο Τοπικό SAR για Αύξηση της Τοπικής Θερμοκρασίας Ιστών Τύπου 1 και 2 κατά 5 και 2°C, αντίστοιχα

Μολονότι παλαιότερη έρευνα εξήγαγε χρήσιμα δεδομένα για τον οφθαλμό των κουνελιών, αφορώντα στην σχέση μεταξύ Έκθεσης σε 2,45 GHz και τοπικής αύξησης της θερμοκρασίας (π.χ. Guy et al. 1975, Emery et al. το 1975), έρευνα με περισσότερο ακριβείς τεχνικές έδειξε ότι το κουνέλι είναι ένα ακατάλληλο μοντέλο προσομοίωσης για τον ανθρώπινο οφθαλμό (Oizumi et al. το 2013). Ωστόσο, δεδομένης της ανησυχίας για δυνητική βλάβη του οφθαλμού, υπάρχουν σήμερα αρκετές μελέτες οι οποίες παρέχουν περισσότερες ακριβείς πληροφορίες σχετικά με την RF-EMF-επαγόμενη θέρμανση του ανθρώπινου οφθαλμού.

Εκφραζόμενοι ως συντελεστές θέρμανσης για το SAR μετρούμενο σε 10 g ιστού (η άνοδος της θερμοκρασίας σε °C, ανά μονάδα μάζας και ανά W απορροφώμενης ισχύος), οι υπολογιζόμενοι συντελεστές θέρμανσης ενός ανθρώπινου οφθαλμού ήταν σχετικά συμβατοί [0,11 - 0,16 °C.kg.W⁻¹ σύμφωνα με τους Hirata (2005), Buccella et al. (2007), Flyckt et al. (2007), Hirata et al. (2007), Wainwright (2007), Laakso (2009), Diao et al. (2016).

Στις περισσότερες μελέτες, ο συντελεστής θέρμανσης προέκυψε για τον SAR του βολβού του οφθαλμού (συνεχόμενος ιστός). Το Μέσο SAR επί κυβικού όγκου (ο οποίος περιλαμβάνει άλλους ιστούς) είναι υψηλότερο από αυτήν την τιμή (Diao et al. 2016), με αποτέλεσμα να δίδει χαμηλότερους συντελεστές θέρμανσης.

Υπάρχει επίσης ένας σημαντικός αριθμός μελετών σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας της κεφαλής, εκτιθέμενη σε κεραίες κινητών τηλεφώνων (Van Leeuwen et al. 1999, Wang and Fujiwara 1999, Bernardi et al. 2000, Gandhi et al. 2001, Hirata και Shiozawa 2003, Ibrahim et al. 2005, Samaras et al. 2007).

Οι Hirata και Shiozawa (2003) ανέφεραν ότι οι συντελεστές θέρμανσης είναι 0,24 ή 0,14 °C.kg.W⁻¹ για το τοπικό Μέσο SAR συνεχιζόμενου όγκου 10 g, συμπεριλαμβάνοντας τον λοβό του ωτός και χωρίς αυτόν, αντίστοιχα.

Άλλες μελέτες σχετικά με το τοπικό SAR, μετρούμενο μεσοσταθμικά επί 10 g κυβικού όγκου, συμπεριλαμβανομένου του λοβού του ωτός, ανέφεραν συντελεστές θέρμανσης της κεφαλής στο εύρος 0,11 - 0,27 °C.kg.W⁻¹ (Van Leeuwen et al. 1999; Bernardi et al. 2000; Ο Gandhi et al. 2001). Οι Fujimoto et al. (2006) μελέτησαν την αύξηση της θερμοκρασίας στην κεφαλή ενός παιδιού το οποίο εκτέθηκε σε κεραία

διπόλου και διεπίστωσαν ότι είναι συγκρίσιμη με αυτήν του ενήλικα όταν χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες θερμικές παράμετροι.

Ο συντελεστής θέρμανσης στον εγκέφαλο (ο λόγος της αύξησης της θερμοκρασίας στον εγκέφαλο προς το μέγιστο SAR στην κεφαλή) είναι $0,1 \text{ } ^\circ\text{C.kg.W}^{-1}$ ή μικρότερος (Morimoto et al. 2016). Μόνο μια μελέτη ασχολήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας στον κορμό για κεραίες οι οποίες τοποθετούνται στο σώμα (Hirata et al. 2006). Αυτή η μελέτη έδειξε ότι ο συντελεστής θέρμανσης στο δέρμα κυμαίνεται από $0,18$ έως $0,26 \text{ C.kg.W}^{-1}$.

Συντελεστές αβεβαιότητας (σχετικοί με τους συντελεστές θέρμανσης) αποδίδονται στην απορροφώμενη ενέργεια από τον λοβό του ωτός (για κινητά τηλέφωνα) και σε άλλους περιβάλλοντες ιστούς (Foster et al. 2018) καθώς και στην μέθοδο εκτίμησης του χωρικού μεσοσταθμικού SAR.

Αυτές οι μελέτες συνάδουν με έρευνα η οποία αποδεικνύει ότι εντός του εύρους συχνοτήτων των $100 \text{ kHz} - 6 \text{ GHz}$, οι μαθηματικές εκτιμήσεις συγκλίνουν δεικνύοντας ότι ο μέγιστος συντελεστής θέρμανσης είναι χαμηλότερος από $0,25 \text{ } ^\circ\text{C.kg.W}^{-1}$ στο δέρμα και $0,1 \text{ } ^\circ\text{C.kg.W}^{-1}$ στον εγκέφαλο, για εκθέσεις χρονικής διάρκειας τουλάχιστον 30 min περίπου. Βάσει αυτών των παραγόντων θέρμανσης, δεν σημειώνεται υπέρβαση των **Λειτουργικών Ουδών** επιβλαβών επιπτώσεων, τόσο για τον οφθαλμό και τον εγκέφαλο (Τύπος 1) όσο και για το δέρμα (Τύπος 2) για τοπικό SAR έως 20 W.kg^{-1} .

Εκτιμήσεις για την Έκθεση Εμβρύου

Οι συντελεστές θέρμανσης του τοπικού SAR για το έμβρυο, ως συνάρτηση του σταδίου κύησης, της στάσης και της θέσης του εμβρύου, έχουν προσδιοριστεί ώστε να λαμβάνουν υπ' όψιν την ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ της μητέρας και του εμβρύου (Akimoto et al. 2010, Tateno et al. 2014, Takei et al. 2018). Αυτή η έρευνα χρησιμοποίησε ψηφιακά ομοιώματα εγκύων γυναικών 13, 18 και 26 εβδομάδων. Οι συντελεστές θέρμανσης του εμβρύου ήταν αρκετές φορές χαμηλότεροι από εκείνους της μητέρας στις περισσότερες περιπτώσεις. Ωστόσο, ο υψηλότερος συντελεστής θέρμανσης παρατηρήθηκε όταν η θέση του σώματος του εμβρύου ήταν πολύ κοντά στην επιφάνεια της κοιλίας (π.χ. μέσο και τελευταίο στάδιο της κύησης). Τα ως άνω παρέχουν έναν συντηρητικό συντελεστή θέρμανσης ίσο με $0,1 \text{ } ^\circ\text{C.kg.W}^{-1}$ για το έμβρυο.

Με βάση τα ευρήματα αυτά, η Έκθεση της μητέρας στο επίπεδο του **Βασικού Περιορισμού** των 10 W.kg^{-1} για επαγγελματίες, θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του εμβρύου σε 1°C περίπου, η οποία είναι χαμηλότερη από το **Λειτουργικό Κατώφλι** των επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία, για την κεφαλή και τον κορμό, αλλά έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο συντελεστή μείωσης (δηλαδή, 2) από αυτόν ο οποίος θεωρείται κατάλληλος για τον γενικό πληθυσμό (δηλαδή, 10).

Επομένως, μια τοπική επαγγελματική Έκθεση σε RF-EMF της μητέρας θα προκαλούσε αύξηση της θερμοκρασίας στο έμβρυο σε επίπεδο υψηλότερο από αυτό το οποίο θεωρείται αποδεκτό για τον γενικό πληθυσμό. Κατά συνέπεια, για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του εμβρύου στο επίπεδο στο οποίο απαιτείται από τους περιορισμούς

SAR του γενικού πληθυσμού, μια έγκυος γυναίκα θεωρείται μέλος του γενικού πληθυσμού ως προς τον Περιορισμό του τοπικού SAR.

Σημειώνεται ότι η προαναφερθείσα περίπτωση εμφανίζεται μόνο για το μεσαίο και τελευταίο στάδιο εγκυμοσύνης (χρονικά διαστήματα 18 έως 26 εβδομάδες κύησης), ενώ ο συντελεστής θέρμανσης του εμβρύου, στο στάδιο της πρώιμης εγκυμοσύνης (κύηση 12 εβδομάδων), είναι κατά μέγιστο $0,02 \text{ } ^\circ\text{C.kg.W}^{-1}$ (Tateno et al. 2014, Takei et al. 2018). Αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας του εμβρύου 12 εβδομάδων κύησης είναι 100 φορές χαμηλότερη από το κατώφλι (2°C) για πρόκληση τερατογένεσης σε πειραματόζωα (Edwards et al. 2003, Ziskin και Morrissey 2011).

Εξειδικεύσεις Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (από > 6 GHz έως 300 GHz)

Σχετικό Φυσικό Μέγεθος

Σε ένα ανθρώπινο σώμα το οποίο εκτίθεται σε RF-EMF, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα μειώνεται εκθετικά από την επιφάνεια προς τις βαθύτερες περιοχές. Αυτό το φαινόμενο εκφράζεται σε συνάρτηση με το βάθος διείσδυσης, όπως περιγράφεται κατωτέρω:

$$\text{Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος: } S_{ab} = PD_0 \int_0^{z_{max}} e^{-\frac{2z}{\delta}} dz \quad (23)$$

Όπου,

- S_{ab} εκφράζει την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος,
- η επιφάνεια του σώματος ευρίσκεται σε $z = 0$,
- δ είναι το βάθος διείσδυσης από την επιφάνεια του σώματος στην κατεύθυνση z (το δ ορίζεται ως η απόσταση από την επιφάνεια όπου έχει ήδη απορροφηθεί το 86% της ισχύος),
- το Z_{max} είναι το βάθος του σώματος στην αντίστοιχη περιοχή. Το Z_{max} είναι πολύ μεγαλύτερο από το βάθος διείσδυσης και μπορεί να αντικατασταθεί από το άπειρο.

PD_0 είναι η Ειδική Απορροφώμενη Ισχύς, μετρούμενη μεσοσταθμικά σε μία περιοχή A για $z = 0$, όπως περιγράφεται κατωτέρω:

$$\text{Ειδική Απορροφώμενη Ισχύς } PD_0 = \int \int_A \rho(x, y, z) * SAR(x, y, 0) dx dy / A \quad (24)$$

Το βάθος διείσδυσης εξαρτάται από τις διηλεκτρικές ιδιότητες του μέσου και την συχνότητα. Καθώς αυξάνεται η συχνότητα, το βάθος διείσδυσης μειώνεται και περιορίζεται κυρίως στους επιφανειακούς ιστούς για συχνότητες υψηλότερες από 6 GHz. Ο Πίνακας 10 απαριθμεί τα βάθη διείσδυσης, με βάση τις διηλεκτρικές ιδιότητες του δερματικού ιστού (δερμίς), τα οποία μετρήθηκαν από τους Sasaki et al. (2014) και Sasaki et al. (2017).

Ως αποτέλεσμα, το τοπικό SAR μετρούμενο μεσοσταθμικά σε κυβική μάζα 10 g, με πλευρικά μήκη 2,15 cm, δεν αποτελεί πλέον ικανοποιητική προσέγγιση για την περιγραφή της αύξησης της τοπικής θερμοκρασίας, καθώς η εναπόθεση ισχύος περιορίζεται σε λίγα χιλιοστά επιφανειακών ιστών. Αντίστροφα, η Πυκνότητα Ισχύος η οποία απορροφάται από το δέρμα, παρέχει καλύτερη προσέγγιση της επιφανειακής αύξησης της θερμοκρασίας από 6 GHz σε 300 GHz (Foster et al. 2016; Funahashi et al. 2018).

Εκτιμήσεις Χωρικών Μεσοσταθμικών Τιμών (Spatial Averaging Considerations)

Η θερμική μοντελοποίηση των Hashimoto et al. (2017) και οι αναλυτικές λύσεις των Foster et al. (2016) θεωρούν ότι μια τετραγωνική επιφάνεια μέτρησης, 4 cm² ή μικρότερη, παρέχει μία καλή προσέγγιση στην τοπική μέγιστη αύξηση θερμοκρασίας για ραδιοκυματική θέρμανση για συχνότητες υψηλότερες των 6 GHz. Αυτή η θέση υποστηρίζεται από υπολογισμούς για ρεαλιστικά σενάρια Έκθεσης (He et al. 2018). Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του ορισμού των 4 cm² μέτρησης, είναι η σύμπτωση στα 6 GHz, μεταξύ του τοπικού SAR και της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος. Η έδρα ενός κύβου μεσοσταθμικής μέτρησης, 10 g, είναι προσεγγιστικά 4 cm².

Λόγω του ότι το εύρος της δέσμης μπορεί να εστιαστεί μόνο στο μέγεθος του μήκους κύματος, η περιοχή μεσοσταθμικής μέτρησης της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος, η σχετική με την αύξηση της θερμοκρασίας, εξαρτάται από την συχνότητα, με αποτέλεσμα να απαιτούνται μικρότερες περιοχές μέτρησης καθώς αυξάνεται η συχνότητα. Επομένως, σε υψηλότερες συχνότητες μερικές φορές απαιτείται μικρότερη περιοχή, για εξαιρετικά εστιασμένες δέσμες. Για συχνότητες > 30 GHz επιβάλλεται ένα πρόσθετο κριτήριο όσον αφορά στην Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος της χωρικής κορυφής (μέγιστη) επί 1 cm², με τρόπο ώστε η τιμή της να μην υπερβαίνει 2 φορές την τιμή για την περιοχή μέτρησης των 4 cm² (Foster et al. 2016).

Εκτιμήσεις Χρονικών Μεσοσταθμικών Τιμών (Temporal Averaging Considerations)

Όπως για τις περιπτώσεις τοπικής Έκθεσης σε συχνότητες χαμηλότερες των 6 GHz, η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της τοπικής Έκθεσης σε RF-EMF άνω των 6 GHz, επιτυγχάνει επίσης μια κατάσταση ισορροπίας με μια συγκεκριμένη σταθερά χρόνου.

Οι Morimoto et al. (2017) απέδειξαν ότι ο ίδιος χρόνος μεσοσταθμικής μέτρησης για το τοπικό SAR, δηλαδή 6 min, είναι κατάλληλος και για τοπική Έκθεση από 6 GHz έως 300 GHz. Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την αύξηση της τοπικής θερμοκρασίας σταθερής κατάστασης, μειώνεται σταδιακά καθώς αυξάνεται η συχνότητα, αλλά δεν παρατηρείται αξιοσημείωτη αλλαγή σε συχνότητες υψηλότερες από 15 GHz (Morimoto et al. 2017). Ο χρόνος ο οποίος απαιτείται για την επίτευξη του 80-90% της μέγιστης αύξησης θερμοκρασίας είναι περίπου 5 – 10 min σε 6 GHz και 3 – 6 min σε 30 GHz.

Ωστόσο, σημειώνεται ότι η σταθερά χρόνου καθίσταται μικρότερη όταν υφίσταται βραχεία, μη-ομαλή έκθεση, η οποία συζητείται στην ενότητα “Εξειδικεύσεις Βραχείας Έκθεσης για Τοπικές Περιοχές (> 6 GHz έως 300 GHz)”. Στις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες, επιλέγονται τα 6 min ως χρόνος μέτρησης, με πρόσθετους Περιορισμούς για

βραχύτερες ή μη-ομαλές Εκθέσεις, οι οποίες υπόκεινται σε πρόσθετους Περιορισμούς ως ένα συντηρητικό μέτρο.

Απαιτούμενη Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος για Αύξηση της Τοπικής Θερμοκρασίας Ιστών Τύπου 1 κατά 5°C

Άνω των 6 GHz, η απορρόφηση ισχύος περιορίζεται κυρίως σε επιφανειακούς ιστούς και δεν μπορεί να οδηγήσει σε θερμοκρασίες, οι οποίες να υπερβαίνουν τα Λειτουργικά Κατώφλια των δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία για τους ιστούς Τύπου 2, χωρίς επίσης να υπερβαίνουν τις αντίστοιχες τιμές για τους περισσότερο επιφανειακούς ιστούς Τύπου 1 (π.χ., Morimoto et al. 2016). Επομένως, το Επίπεδο Έκθεσης πρέπει να επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στους περισσότερο επιφανειακούς ιστούς Τύπου 1, δεν θα υπερβαίνει τον **Λειτουργικό Κατώφλι** των 5°C.

Η θέρμανση των ιστών, ως συνάρτηση της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος άνω των 6 GHz, εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, όπως ισχύει και για τις χαμηλότερες συχνότητες.

Πραγματοποιήθηκε διεξοδική έρευνα επί των συντελεστών θέρμανσης, για την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος [με όρους αύξησης της θερμοκρασίας (°C) σε μια μοναδιαία περιοχή (m²), ανά W απορροφώμενης ισχύος] για την περίπτωση προσπίπτοντος επιπέδου κύματος σε ένα ομοίωμα πολλαπλών πλακών ως μία ακραία ομοιόμορφη κατάσταση Έκθεσης (Sasaki et al. 2017).

Σε αυτήν την μελέτη, πραγματοποιήθηκε στατιστική εκτίμηση του συντελεστή θέρμανσης μέσω εξομοίωσης Monte Carlo, όπου δείχθηκε ότι ο μέγιστος συντελεστής θέρμανσης για την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος είναι 0,025 °C.kg.W⁻¹. Αυτή η τιμή είναι περισσότερο συντηρητική (υψηλότερη) από την προκύπτουσα από άλλες έρευνες, σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος (Alekseev et al. 2005, Foster et al. 2016, Hashimoto et al. 2017) και του οφθαλμού (Bernardi et al. 1998, Karampatzakis και Σαμαράς 2013). Συμπερασματικά, για την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 5°C απαιτείται Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος 200 W.m⁻².

Εκτιμήσεις Έκθεσης Εμβρύου

Όπως συζητήθηκε στην παράγραφο “Εκτιμήσεις Έκθεσης εμβρύου” της ενότητας “Εξειδικεύσεις Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (100 kHz έως 6 GHz)” σε σχέση με τα χαρακτηριστικά των συχνοτήτων της κατανομής SAR, η συμβολή της επιφανειακής θέρμανσης (λόγω της Έκθεσης σε RF-EMF άνω των 6 GHz), στην αύξηση της θερμοκρασίας του εμβρύου, είναι πιθανώς πολύ μικρή (και μικρότερη από αυτήν για την περίπτωση κάτω των 6 GHz).

Αυτό υποδηλώνει ότι το έμβρυο δεν θα υποστεί αξιόλογη θέρμανση από την τοπική Έκθεση συχνότητας υψηλότερης των 6 GHz. Ωστόσο, προς το παρόν δεν υπάρχει έρευνα η οποία να αξιολογεί αυτήν την περίπτωση.

Κατά συνέπεια, η ICNIRP ακολουθώντας μια συντηρητική προσέγγιση για εκθέσεις άνω των 6 GHz, απαιτεί η έγκυος εργαζόμενη να αντιμετωπίζεται ως μέλος του

γενικού πληθυσμού, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι το έμβρυο δεν θα εκτίθεται σε επίπεδα υψηλότερα των **Βασικών Περιορισμών** του γενικού πληθυσμού.

Εξειδικεύσεις Βραχείας Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (100 kHz έως 6 GHz)

Η διάταξη της μεσοσταθμικής μέτρησης των 6 min για τοπική Έκθεση, επιτρέπει υψηλότερη ένταση του τοπικού **SAR** εάν η χρονική διάρκεια της Έκθεσης είναι μικρότερη από 6 min.

Ωστόσο, εάν η χρονική διάρκεια Έκθεσης είναι σημαντικά μικρότερη, οι μηχανισμοί διάχυσης της θερμότητας είναι ανεπαρκείς για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας. Αυτό σημαίνει ότι ο **Βασικός Περιορισμός**, μεσοσταθμικά σε 6 min, μπορεί προσωρινά να προκαλέσει υψηλότερη αύξηση της θερμοκρασίας σε σχέση με τον **Λειτουργικό Κατώφλι** των δυσμενών επιπτώσεων για την υγεία, εάν η περίοδος Έκθεσης είναι μικρότερη των 6 min.

Μία έρευνα με την βοήθεια μαθηματικής εξομοίωσης βραχείας Έκθεσης σε RF-EMF από 100 MHz έως 6 GHz, χρησιμοποιώντας ένα ομοίωμα πολλαπλών φύλλων και ένα ανατομικό ομοίωμα κεφαλής, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας - **SA** η οποία αντιστοιχεί στην επιτρεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας μεταβάλλεται σημαντικά, εξαρτώμενη από μία σειρά παράγοντες (Kodera et al. 2018).

Με βάση αυτήν την έρευνα και τις εμπειρικές εξισώσεις του φυσικού μεγέθους “Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας - **SA**” η οποία αντιστοιχεί στον **Λειτουργικό Κατώφλι** των δυσμενών επιπτώσεων για το δέρμα (5°C), η Έκθεση η οποία αντιστοιχεί σε αυτήν την αύξηση της θερμοκρασίας προέρχεται από τις ακόλουθες εξισώσεις για την κεφαλή και τον κορμό:

$$\text{Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας: } SA(t) = 7,2 \left(0,05 + 0,95 * \sqrt{t/360} \right) \left(\frac{kJ}{kg} \right) \quad (25)$$

όπου t είναι χρόνος σε sec και ισχύει για $t < 360$, η Ειδική Απορρόφηση Ενέργειας **SA(t)** υπολογίζεται χωρικά μεσοσταθμικά σε οποιονδήποτε κυβικό ιστό 10 g, λαμβάνοντας υπ’ όψιν την συνέχεια του **SAR** στα 6 min. Η διαδικασία υπολογισμού του **SA** είναι η ίδια με την αντίστοιχη του **SAR** στην εξίσωση (13).

Για τα άκρα, η ακόλουθη εξίσωση πρέπει να ικανοποιείται:

$$\text{Ειδική Απορρ. Ενέργειας } SA(t) = 14,4 \left(0,025 + 0,975 * \sqrt{t/360} \right) \left(\frac{kJ}{kg} \right) \quad (26)$$

Σημειώνεται ότι η ως άνω λογική έχει ως αποτέλεσμα ελαφρώς διαφορετικές χρονικές συναρτήσεις για βραχεία Έκθεση συχνοτήτων κάτω και άνω των 6 GHz. Οι προκύπτουσες συναρτήσεις του χρόνου κάτω των 6 GHz είναι περισσότερο συντηρητικές από τις αντίστοιχες για τις συχνότητες άνω των 6 GHz (εξισώσεις 27 και 28).

Η μαθηματική μοντελοποίηση από τους Kodera et al. (2018) δεικνύει επίσης ότι η αύξηση της θερμοκρασίας για ιστούς Τύπου 2 (π.χ. εγκέφαλο) διατηρείται κάτω από όριο του 1°C σύμφωνα με τον Περιορισμό του **SA**, οριζόμενο στην εξίσωση (25). Οι

ερευνητές ανέφεραν επιπλέον ότι η SA, η οποία αντιστοιχεί στην επιτρεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται καθώς μειώνεται η συχνότητα.

Για συχνότητες 400 MHz ή χαμηλότερες, η SA η οποία εξάγεται από τον τοπικό Βασικό Περιορισμό του SAR για χρονικό διάστημα 6 min [$10 \cdot (W \cdot kg^{-1}) \cdot 360 (s) = 3,6 (kJ \cdot kg^{-1})$] δεν προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας η οποία να αντιστοιχεί στον Λειτουργικό Κατώφλι των δυσμενών επιπτώσεων για την κεφαλή και τον κορμό. Κατά συνέπεια, αυτό το όριο του SA απαιτείται μόνο για εκθέσεις άνω των 400 MHz.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι εξισώσεις (25) και (26) θα πρέπει να πληρούνται για όλα τα χρονικά διαστήματα έως 6 min, ανεξάρτητα από το είδος του παλμού ή από την μη-παλμική διάταξη συνεχούς κύματος. Δηλαδή, η Έκθεση από οποιονδήποτε παλμό, ομάδα παλμών ή υποομάδα παλμών σε σειρά, καθώς και από το άθροισμα των εκθέσεων (συμπεριλαμβανομένων των μη παλμικών RF-EMF), για χρόνο t σε sec, δεν πρέπει να υπερβαίνει τα όρια τα οποία καθορίζονται από τις εξισώσεις (25) και (26), καθώς η Έκθεση σε ένα τμήμα από την διάταξη της Έκθεσης μπορεί να είναι περισσότερο κρίσιμη από την έκθεση σε έναν μόνο παλμό ή την μεσοσταθμική Έκθεση σε χρονικό διάστημα t.

Για παράδειγμα, εάν δύο παλμοί χρονικής διάρκειας ενός sec, απέχουν μεταξύ τους 1 sec, τα Επίπεδα Έκθεσης τα οποία καθορίζονται από τις εξισώσεις (25) και (26), θα πρέπει να ικανοποιούνται για καθένα από τους παλμούς 1 sec καθώς και για το συνολικό διάστημα των 3 sec.

Η ως άνω συζήτηση σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας του εγκεφάλου καταλήγει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του εμβρύου θα είναι επίσης χαμηλότερη από την Έκθεση για επίτευξη σταθερής κατάστασης (6 min). Δηλαδή, καθώς η θερμοκρασία των ιστών Τύπου 2 αυξάνεται, η Έκθεση θα διατηρείται κάτω από τον Λειτουργικό Κατώφλι των επιβλαβών επιπτώσεων στην υγεία εφαρμόζοντας την εξίσωση (25), με αποτέλεσμα το ίδιο να ισχύει και για την αύξηση της θερμοκρασίας του εμβρύου λόγω των σύντομων Εκθέσεων.

Ωστόσο, δεν υπάρχει διαθέσιμη μελέτη η οποία να έχει ερευνήσει την επίδραση της βραχείας Έκθεσης στο έμβρυο εγκύων γυναικών, έως το επίπεδο του επαγγελματικού ορίου. Η ICNIRP διατηρεί έτσι την ίδια συντηρητική πολιτική για εκθέσεις μικρότερης ή μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας των 6 min, (βλ. Ενότητα “Εκτιμήσεις Έκθεσης εμβρύου” στις “Εξειδικεύσεις Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (100 kHz έως 6 GHz)”) και απαιτεί η έγκυος εργαζόμενη να υπόκειται στους Περιορισμούς του γενικού πληθυσμού.

Εξειδικεύσεις Βραχείας Έκθεσης Τοπικών Περιοχών (> 6 GHz έως 300 GHz)

Όπως και για την Έκθεση σε συχνότητες έως 6 GHz, η αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να ενισχυθεί για έντονους βραχείς παλμούς ή ασυνεχείς εκθέσεις, άνω των 6 GHz, σε σχέση με συνεχή Έκθεση με την ίδια Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος μεσοσταθμικά, σε διάστημα 6 min. Αυτό το φαινόμενο γίνεται έντονο σε συχνότητες υψηλότερες των 30 GHz (Foster et al. 2016).

Λαμβάνοντας υπ’ όψιν την αξιοπιστία και την σταθερότητα την οποία προσφέρουν τα απλά ομοιώματα πολλαπλών πλακών, οι Βασικοί Περιορισμοί για τις βραχείες

εκθέσεις προκύπτουν βάσει ερευνών όπου χρησιμοποιούνται απλά ομοιώματα (Foster et al. 2016; Morimoto et al. 2017).

Σε αντίθεση με την Έκθεση συνεχούς κυματομορφής, η επίδραση των φαινομένων της περίθλασης (diffraction) ή της παρεμβολής (interference) των Η/Μ κυμάτων, ανακλώμενα από τα τμήματα του σώματος τα οποία προεξέχουν, πίσω προς το δέρμα, μπορεί να είναι εμφανής, για παλμούς σύντομης χρονικής διάρκειας.

Αν και η επίδραση του φαινομένου της περίθλασης στην Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος δεν έχει ακόμη προσδιοριστεί πλήρως, η προκύπτουσα αύξηση θερμοκρασίας εκτιμάται ότι είναι έως 3 φορές υψηλότερη, εάν είναι παλμική η εκπομπή, από ότι εκείνη της ίδιας Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος η οποία κατανέμεται ομοιόμορφα, σε διάστημα 6 min (Laakso et al. 2017).

Θεωρώντας αυτούς τους παράγοντες, οι **Βασικοί Περιορισμοί** της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ενέργειας (U_{ab}) καθορίζονται ως συνάρτηση της τετραγωνικής ρίζας του χρονικού διαστήματος, για να ληφθεί υπ' όψιν η ετερογένεια της αύξησης της θερμοκρασίας (Foster et al. 2016).

Οι παράγοντες αυτοί έχουν τεθεί ώστε να ταυτίζονται με τον **Λειτουργικό Κατώφλι** των επιβλαβών επιπτώσεων για τους ιστούς Τύπου 1, καθώς και με την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας, η οποία προέρχεται από τον **Βασικό Περιορισμό** της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος για 360 s.

Σε ότι αφορά στα όρια Έκθεσης για σύντομα χρονικά διαστήματα, για συχνότητες έως 6 GHz, η επιφανειακή φύση της αύξησης της θερμοκρασίας, δεν θα έχει ως αποτέλεσμα θερμοκρασίες οι οποίες να υπερβαίνουν τον **Λειτουργικό Κατώφλι** των επιβλαβών επιπτώσεων για ιστούς Τύπου 2, με αποτέλεσμα να απαιτείται έλεγχος μόνο για το όριο των ιστών Τύπου 1 (5°C).

Κατά συνέπεια, μια επέκταση της εξίσωσης από τους Kodera et al. (2018) για συχνότητες έως 6 GHz, καθορίζει το μέγιστο επίπεδο Απορροφώμενης Πυκνότητας Ενέργειας για βραχείες Εκθέσεις, το οποίο αντιστοιχεί στην αύξηση της θερμοκρασίας των 5°C σύμφωνα με την εξίσωση (27):

$$\begin{aligned} & \text{Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας } U_{ab}(t) \\ & = 72 \left(0,05 + 0,95 * \sqrt{t/360} \right) \left(\frac{kJ}{m^2} \right) \quad (27) \end{aligned}$$

για τετραγωνική περιοχή διαστάσεων 2 cm x 2 cm, όπου t είναι το χρονικό διάστημα σε sec και ισχύει για t < 360 s.

Άνω των 30 GHz, παρέχεται ένα πρόσθετο κριτήριο για περιοχές μέτρησης διαστάσεων 1 cm x 1 cm, έτσι ώστε η Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας να μην υπερβαίνει την τιμή, όπως καθορίζεται από την εξίσωση (28):

$$\begin{aligned} & \text{Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας } U_{ab}(t) \\ & = 144 \left(0,025 + 0,975 * \sqrt{t/360} \right) \left(\frac{kJ}{m^2} \right) \quad (28) \end{aligned}$$

για τετραγωνική περιοχή διαστάσεων 1 cm x 1 cm.

Σημειώνεται ότι πρέπει να πληρούνται και οι δύο εξισώσεις (27) και (28) για όλα τα χρονικά διαστήματα έως 6 min, ανεξάρτητα από την συγκεκριμένη παλμική ή από μη-παλμική συνεχούς κυματομορφή διάταξη.

Δηλαδή, η Έκθεση από οποιονδήποτε παλμό, ομάδα παλμών ή υποομάδα παλμών σε μια σειρά, καθώς και από το άθροισμα των εκθέσεων (συμπεριλαμβανομένων μη-παλμικών RF-EMF), αποδιδόμενη σε t sec, δεν πρέπει να υπερβαίνει εκείνη η οποία καθορίζεται στις εξισώσεις (27) και (28), καθώς η Έκθεση σε ένα τμήμα από το φάσμα της Έκθεσης μπορεί να είναι περισσότερο κρίσιμη από την Έκθεση σε έναν μόνο παλμό ή την μεσοσταθμική Έκθεση σε χρονικό διάστημα t. Για παράδειγμα, εάν δύο παλμοί χρονικής διάρκειας ενός sec, απέχουν μεταξύ τους 1 sec, τα Επίπεδα Έκθεσης τα οποία καθορίζονται από τις εξισώσεις (27) και (28), θα πρέπει να ικανοποιούνται για καθένα από τους παλμούς 1 sec, καθώς και για το συνολικό διάστημα των 3 sec.

Όπως συζητήθηκε ως άνω, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της συχνότητας της κατανομής SAR, η συμβολή της επιφανειακής θέρμανσης λόγω των RF-EMF ($f > 6$ GHz), στην αύξηση της θερμοκρασίας του εμβρύου, είναι πιθανώς μικρότερη από αντίστοιχη, η οποία προκύπτει για συχνότητες κάτω των 6 GHz. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει για περιπτώσεις βραχείας Έκθεσης.

Ωστόσο, καθώς δεν υπάρχουν μελέτες για το έμβρυο λόγω Έκθεσης εγκύου σε RF-EMF άνω των 6 GHz, η ICNIRP υιοθετεί μια συντηρητική προσέγγιση και αντιμετωπίζει την έγκυο εργαζόμενη ως μέλος του γενικού πληθυσμού, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι η Έκθεση του εμβρύου δεν υπερβαίνει αυτήν του γενικού πληθυσμού.

ΕΞΑΓΩΓΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Γενικές Εκτιμήσεις για τα Επίπεδα Αναφοράς

Όπως περιγράφεται στις Κατευθυντήριες Οδηγίες του κυρίως κειμένου, τα Επίπεδα Αναφοράς έχουν εξαχθεί ως πρακτικό μέσο αξιολόγησης της συμμόρφωσης με τις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες. Τα Επίπεδα Αναφοράς για την Ένταση του ηλεκτρικού (E) πεδίου, την Ένταση του μαγνητικού (H) πεδίου και την Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}) έχουν προκύψει από δοσιμετρικές μελέτες οι οποίες λαμβάνουν ως υπόθεση την ολόσωμη Έκθεση σε ένα ομοιόμορφο πεδίο, το οποίο είναι γενικώς το χειρότερο σενάριο.

Λόγω της ισχυρά συντηρητικής φύσης των Επιπέδων Αναφοράς στα περισσότερα σενάρια Έκθεσης, τα Επίπεδα Αναφοράς είναι δυνατόν συχνά να υπερκεραστούν χωρίς ωστόσο να υπερκεραστούν οι αντίστοιχοι Βασικοί Περιορισμοί, αλλά αυτό θα πρέπει πάντα να επαληθεύεται, με σκοπό να προσδιορίζεται η συμμόρφωση.

Έχουν θεσπιστεί διαφορετικά Επίπεδα Αναφοράς για εκθέσεις οι οποίες αφορούν στο μακρινό πεδίο, στο πεδίο Fresnel και στο αντιδραστικό κοντινό πεδίο. Ο σκοπός της ICNIRP για τον διαχωρισμό μεταξύ αυτών των ζωνών είναι να διασφαλιστεί ότι τα Επίπεδα Αναφοράς είναι περισσότερο συντηρητικά σε σχέση με τους Βασικούς Περιορισμούς.

Όσον αφορά στην διάκριση μεταξύ των ζωνών, ο βαθμός στον οποίο ένα πεδίο προσεγγίζει τις συνθήκες του επιπέδου κύματος, ορίζεται ως ο κύριος (αλλά όχι ο μόνος) παράγοντας. Μια δυσκολία με αυτήν την προσέγγιση είναι ότι και άλλοι παράγοντες μπορούν επίσης να επηρεάσουν την αξιοπιστία της εκτίμησης των **Επιπέδων Αναφοράς**, από τους **Βασικούς Περιορισμούς**. Αυτοί οι παράγοντες περιλαμβάνουν:

- ✓ την RF-EMF συχνότητα,
- ✓ τις φυσικές διαστάσεις της πηγής ραδιοσυχνοτήτων
- ✓ την απόσταση μεταξύ της πηγής και του σημείου όπου αξιολογούνται τα (εξωτερικά) RF-EMF και
- ✓ τον βαθμό στον οποίο μεταβάλλονται τα RF-EMF στον χώρο τον οποίο δύναται να καταλάβει ένα άτομο.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν αυτές τις πηγές αβεβαιότητας, οι Κατευθυντήριες Οδηγίες παρέχουν περισσότερο συντηρητικούς κανόνες για την Έκθεση στο αντιδραστικό πεδίο και στο πεδίο Fresnel σε σχέση με το μακρινό πεδίο. Αυτή η διάκριση καθιστά δύσκολο να προσδιοριστεί εάν, για τους σκοπούς της συμμόρφωσης, μία Έκθεση θα πρέπει να προσδιορίζεται ως αντιδραστικό κοντινό πεδίο, πεδίο Fresnel, μακρινό πεδίο, χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψιν μία σειρά από παράγοντες, οι οποίοι δεν είναι εύκολο να προσδιοριστούν εκ των προτέρων.

Ως αδρός οδηγός, σύμφωνα με τις αποστάσεις από μία κεραία, οι περιοχές χαρακτηρίζονται ως εξής:

- Για αποστάσεις $> 2D^2/\lambda$ (m) → μακρινό πεδίο
- $\lambda/2\pi < \text{απόσταση} < 2D^2/\lambda$ (m) → πεδίο Fresnel
- Για αποστάσεις $> \lambda/2\pi$ (m) → αντιδραστικό κοντινό πεδίο

όπου D και λ αναφέρονται στην μεγαλύτερη διάσταση της κεραίας και του μήκους κύματος αντίστοιχα, σε μέτρα.

Ωστόσο, πρέπει να γίνεται εκμετάλλευση της συμβολής φορέων τεχνικών προτύπων, με σκοπό να προσδιορίζεται καλύτερα ποιοι κανόνες των **Επιπέδων Αναφοράς** για κοντινά πεδία / μακρινά πεδία πρέπει να εφαρμόζονται, προκειμένου να επιτυγχάνεται η κατάλληλη συμφωνία μεταξύ των **Επιπέδων Αναφοράς** και των **Βασικών Περιορισμών**.

Επίπεδα Αναφοράς Ηλεκτρικού Πεδίου (E-Field) και Μαγνητικού Πεδίου (H-Field) έως 30 MHz

Στις Κατευθυντήριες Οδηγίες της ICNIRP (1998), τα **Επίπεδα Αναφοράς** σε αυτήν την περιοχή συχνοτήτων, προήλθαν από το Ολόσωμο Μέσο SAR για ολόσωμη Έκθεση σε ακτινοβολία επίπεδων κυμάτων.

Ωστόσο, οι Taguchi et al. (2018) απέδειξαν ότι, η ολόσωμη Έκθεση στο αποζευγοποιημένο μαγνητικό πεδίο **H**, έχει ως αποτέλεσμα Ολόσωμο Μέσο SAR σημαντικά χαμηλότερο από αυτό το οποίο υπολογίστηκε για την ολόσωμη Έκθεση επίπεδων κυμάτων της ίδιας Έντασης μαγνητικού πεδίου **H**.

Υπολογίστηκε επίσης η ολόσωμη Έκθεση στο αποζευγοποιημένο ηλεκτρικό πεδίο E, όπου διαπιστώθηκε ότι το Ολόσωμο Μέσο SAR είναι σχεδόν το ίδιο με το αντίστοιχο των επιπέδων κυμάτων της ίδιας κατεύθυνσης και Έντασης με το ηλεκτρικό πεδίο E.

Τα **Επίπεδα Αναφοράς** τα οποία σχετίζονται με τους **Βασικούς Περιορισμούς** του Ολόσωμου Μέσου SAR για συχνότητες < 30 MHz, σε αυτές τις Κατευθυντήριες Οδηγίες, βασίζονται στους μαθηματικούς υπολογισμούς του Ολόσωμου Μέσου SAR για την ολόσωμη Έκθεση στο αποζευγοποιημένο ομοιόμορφο ηλεκτρικό E και μαγνητικό πεδίο H, διακριτά.

Οι Taguchi et al. (2018) κατέληξαν επίσης στο συμπέρασμα ότι οι **Βασικοί Περιορισμοί** του τοπικού SAR, συμπεριλαμβανομένης της ποδοκνημικής άρθρωσης, θα ικανοποιούνται όταν ικανοποιούνται οι **Βασικοί Περιορισμοί** του ολόσωμου SAR. Αυτό σημαίνει ότι η συμμόρφωση με τις μέσες τιμές των **Επιπέδων Αναφοράς** για ολόκληρο το σώμα, σε αυτήν την περιοχή συχνοτήτων, θα έχει ως αποτέλεσμα Εκθέσεις οι οποίες δεν θα υπερβαίνουν τους **Βασικούς Περιορισμούς** του Μέσου SAR τόσο για ολόκληρο το σώμα όσο και τοπικά.

Στις Κατευθυντήριες Οδηγίες χαμηλών συχνοτήτων της ICNIRP (2010), όπου τα **Επίπεδα Αναφοράς** για συχνότητες ≤ 10 MHz ορίζονται με σκοπό την αποφυγή διεγέρσεων των νευρικών κυττάρων, εφαρμόζεται ένας συντελεστής μείωσης ίσος με 3, για να ληφθεί υπ' όψιν η αβεβαιότητα η οποία σχετίζεται με την μαθηματική προσομοίωση της σχέσης μεταξύ των εξωτερικών πεδίων και των επαγόμενων (εσωτερικών) ηλεκτρικών πεδίων.

Ο λόγος για αυτό είναι ότι μεσοσταθμικές μετρήσεις επί κύβων διαστάσεων 2 mm (εντός ενός συγκεκριμένου ιστού) αξιολογούνται στις Κατευθυντήριες Οδηγίες χαμηλών συχνοτήτων, μετρήσεις οι οποίες επηρεάζονται σημαντικά από υπολογιστικές ψευδείς ενδείξεις (artifacts).

Στις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες ωστόσο, η αβεβαιότητα της μαθηματικής προσομοίωσης δεν είναι σημαντική, διότι η χωρική μεσοσταθμική διαδικασία η οποία εφαρμόζεται για την αξιολόγηση του Ολόσωμου Μέσου SAR και του τοπικού SAR, μειώνει σημαντικά την αβεβαιότητα της υπολογιστικής ψευδούς ένδειξης.

Επομένως, δεν είναι ανάγκη να λαμβάνονται υπ' όψιν επιπρόσθετοι συντελεστές μείωσης, λόγω της υπολογιστικής αβεβαιότητας για την εξαγωγή των **Επιπέδων Αναφοράς**, σχετιζόμενα με τους **Βασικούς Περιορισμούς** του τοπικού και Ολόσωμου Μέσου SAR για συχνότητες < 30 MHz, σε αυτές τις Κατευθυντήριες Οδηγίες.

Ηλεκτρικό Πεδίο, Μαγνητικό Πεδίο και Επίπεδα Αναφοράς Πυκνότητας Ισχύος για Συχνότητες από > 30 MHz έως 6 GHz

Το Ολόσωμο Μέσο SAR, σύμφωνα με τις Κατευθυντήριες Οδηγίες της ICNIRP (1998), για Έκθεση σε Ένταση πεδίου ίση με αυτήν των **Επιπέδων Αναφοράς**, ευρίσκεται κοντά στους **Βασικούς Περιορισμούς**, πλησίον της συχνότητας συντονισμού ολόκληρου του σώματος (30–200 MHz) και της συχνοτικής περιοχής μετά το συντονισμό (1.500 – 4.000 MHz).

Η συχνότητα συντονισμού εμφανίζεται σε μια συχνότητα όπου το $\frac{1}{2}$ του μήκους κύματος στον ελεύθερο χώρο, είναι πλησίον του ύψους (κάθετη διάσταση ενός

ατόμου το οποίο είναι όρθιο) του ανθρώπινου σώματος στον ελεύθερο χώρο ή το $\frac{1}{4}$ του μήκους κύματος στον ελεύθερο χώρο, είναι κοντά στο ύψος ενός ανθρώπινου σώματος το οποίο στέκεται στο επίπεδο του εδάφους (Durney et al. 1986) με αποτέλεσμα υψηλότερο Ολόσωμο Μέσο SAR.

Ο ολόσωμος συντονισμός εμφανίζεται μόνο στην περίπτωση προσπίπτοντος κάθετα πολωμένου επιπέδου κύματος. Εάν υποτεθούν διαφορετικές πολώσεις, τότε η προκύπτουσα τιμή του Ολόσωμου Μέσου SAR είναι σημαντικά (μερικές τάξεις μεγέθους) χαμηλότερη από την αντίστοιχη τιμή η οποία προκύπτει στην περίπτωση της κάθετης πόλωσης γύρω από την συχνότητα ολόσωμου συντονισμού (Durney et al. 1986). Ο ολόσωμος συντονισμός έχει επιβεβαιωθεί από μαθηματικούς υπολογισμούς (Dimbylow 1997, Nagaoka et al. 2004, Dimbylow 2005, Conil et al. 2008, Kühn et al. 2009, Hirata et al. 2010).

Άνω της συχνότητας ολόσωμου συντονισμού, ειδικά άνω μερικών GHz, οι διαφορές στις μέσες τιμές των ολόσωμων SAR, λόγω πόλωσης δεν είναι σημαντικές σε σύγκριση με τις αντίστοιχες τιμές οι οποίες προκύπτουν για την συχνότητα ολόσωμου συντονισμού.

Οι Hirata et al. (2009) ανέφεραν ότι το Ολόσωμο Μέσο SAR, σε ομοιώματα παιδιών ηλικίας από 9 μηνών έως 7 ετών, τα οποία εκτίθενται σε πεδίο προσπίπτοντος, οριζόντια πολωμένου επιπέδου κύματος, είναι ελαφρώς υψηλότερο (έως και 20%) σε σύγκριση με την αντίστοιχη τιμή η οποία προκύπτει από κάθετα πολωμένο προσπίπτον επίπεδο κύμα σε εύρος συχνοτήτων από 2 GHz έως 6 GHz. Παρόμοια τάση έχει αναφερθεί και από άλλες μελέτες (Vermeeren et al. 2008, Kühn et al. 2009).

Η ICNIRP είχε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι, δεδομένου του ίδιου εξωτερικά εφαρμοζόμενου πεδίου, το Ολόσωμο Μέσο SAR για παιδιά, μπορεί να είναι 40% υψηλότερο σε σχέση με αυτή των ενηλίκων (ICNIRP 2009). Μετά από αυτή την διαπίστωση της ICNIRP, οι Bakker et al. (2010) ανέφεραν παρόμοιες (αλλά ελαφρώς υψηλότερες) αυξήσεις (45%) του Ολόσωμου Μέσου SAR στα παιδιά.

Έχει επίσης διερευνηθεί η ηλικιακή εξάρτηση των διηλεκτρικών ιδιοτήτων των ιστών και των οργάνων, αλλά δεν έχει ευρεθεί καμία σημαντική επίδραση σχετική με το Ολόσωμο Μέσο SAR (Lee και Choi 2012).

Σημειώνεται ότι αυξημένοι τιμές του Ολόσωμου Μέσου SAR έχουν αναφερθεί από υπολογισμούς, χρησιμοποιώντας πολύ λεπτά παιδικά ομοιώματα, τα οποία κατασκευάστηκαν υπό κλίμακα από ομοιώματα ενηλίκων και πολύ νεαρών ατόμων (βρέφη).

Αυτές οι μελέτες υπέθεσαν ότι το παιδί ή το βρέφος διατηρεί την στάση του σώματός του για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, πληρώντας τις συνθήκες μίας ακραίας περίπτωσης, ώστε η τιμή του ολόσωμου SAR να υπερβαίνει τον **Βασικό Περιορισμό**.

Επιπλέον, μια πιο πρόσφατη μελέτη, όπου χρησιμοποιούνται ομοιώματα παιδιών τυπικών διαστάσεων, καθορισμένες από την International Commission on Radiological Protection (ICRP), αντί για υπό κλίμακα μικρόνσεις ομοιωμάτων ενηλίκων, απέδειξαν ότι οι αυξήσεις του Ολόσωμου Μέσου SAR στα ομοιώματα παιδιών τυπικών διαστάσεων δεν είναι σημαντικές (το πολύ 16%, Nagaoka et al. 2019).

Ομοίως, διερευνήθηκε η σχέση μεταξύ του Ολόσωμου Μέσου SAR και της μάζας ολόκληρου του σώματος και αποδείχθηκε ότι το Ολόσωμο Μέσο SAR σε ενήλικες με χαμηλό δείκτη μάζας σώματος (ΔΜΣ - Body Mass Index - BMI) είναι δυνατόν να αυξηθεί με παρόμοιο τρόπο με αυτόν των παιδιών (Hirata et al. 2010, 2012, Lee και Choi 2012).

Όπως συζητήθηκε στην παράγραφο “Εκτιμήσεις Έκθεσης εμβρύου” της ενότητας “Εξειδικεύσεις Ολόσωμης Μέσης Έκθεσης”, η θερμοκρασία του εμβρύου είναι παρόμοια με την κεντρική θερμοκρασία σώματος της μητέρας. Το Ολόσωμο Μέσο SAR, το οποίο χρησιμοποιείται για τον περιορισμό της αύξησης της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος, ορίζεται ως ο λόγος της ολόσωμης Απορρόφησης Ισχύος προς την μάζα ολόκληρου του σώματος.

Ως εκ τούτου, το μέσο SAR του ομοιώματος μιας εγκύου γυναίκας, της οποίας η μάζα είναι μεγαλύτερη, είναι γενικά το ίδιο ή χαμηλότερο από εκείνο του ομοιώματος μιας μη-εγκυμονούσας γυναίκας, σε αυτήν την συχνοτική περιοχή.

Οι Nagaoka et al. (2007) ανέφεραν ότι το Ολόσωμο Μέσο SAR ομοιώματος εγκύου 26 εβδομάδων η οποία εκτέθηκε σε κατακόρυφο πολωμένο επίπεδο κύμα με εύρος συχνοτήτων 10 MHz έως 2 GHz, ήταν σχεδόν το ίδιο, ή χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο ομοίωμα μίας μη-εγκυμονούσας γυναίκας, για τις ίδιες συνθήκες Έκθεσης.

Ο Dimbylow (2007) ανέφερε ότι, χρησιμοποιώντας ένα απλοποιημένο ομοίωμα εγκύου γυναίκας, το Ολόσωμο Μέσο SAR τόσο του εμβρύου όσο και της μητέρας ήταν υψηλότερο για μη-γειωμένη διάταξη (ungrounded condition), σε περίπου 70 MHz.

Παρόμοια τάση παρατηρήθηκε για ανατομικά ομοιώματα εμβρύων του δεύτερου και τρίτου τριμήνου της εγκυμοσύνης. Το Ολόσωμο Μέσο SAR για έμβρυα 20, 26 και 29 εβδομάδων ήταν περίπου 80%, 70% και 60% των τιμών της μητέρας αντίστοιχα (Nagaoka et al. 2014).

Το Ολόσωμο Μέσο SAR του κυήματος, ενώ είναι ακόμη εμβρυϊκό, είναι συγκρίσιμο ή χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο μέσο SAR της μητέρας, επειδή το έμβρυο ευρίσκεται βαθιά μέσα στην κοιλία της (Kawai et al. 2009). Συνεπώς, η έγκυος γυναίκα δεν θεωρείται ανεξάρτητη από το έμβρυο ως προς τα **Επίπεδα Αναφοράς** και υπόκειται στους περιορισμούς του γενικού πληθυσμού.

Όπως περιγράφεται ως άνω, υπάρχουν πολλές βάσεις δεδομένων σχετικές με το Ολόσωμο Μέσο SAR, όσον αφορά στην ολόσωμη Έκθεση σε αυτήν την περιοχή συχνοτήτων. Σε αυτές περιλαμβάνεται ένας σημαντικός αριθμός δημοσιευμάτων μετά την έκδοση των Κατευθυντηρίων Οδηγιών της ICNIRP το 1998, οι οποίες δημοσιεύσεις είναι γενικά συμβατές με την βάση δεδομένων η οποία χρησιμοποιήθηκε ως βάση για τις Κατευθυντήριες Οδηγίες της ICNIRP (1998). Η ICNIRP χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό παλαιότερων και νεότερων βάσεων δεδομένων για να εξάγει τα **Επίπεδα Αναφοράς**, λαμβάνοντας υπ’ όψιν ορισμένες ασυμφωνίες οι οποίες συζητούνται στην συνέχεια.

Από την δημοσίευση των Κατευθυντηρίων Οδηγιών της ICNIRP (1998), έχει δειχθεί ότι οι **Βασικοί Περιορισμοί** του ολόσωμου SAR, μπορούν να υπερκεραστούν για Έκθεση στο **Επίπεδο Αναφοράς** για παιδιά ή άτομα μικρών διαστάσεων.

Όπως αναλύθηκε ως άνω, το Ολόσωμο Μέσο SAR είναι δυνατόν να υπερκεραστεί όχι περισσότερο από 45% και μόνο για πολύ συγκεκριμένα ομοιώματα παιδιών και η πιο πρόσφατη μοντελοποίηση με ρεαλιστικά, διεθνώς τυποποιημένα παιδικά ομοιώματα, δείχνει μόνο μια μέτρια αύξηση το πολύ κατά 16% (Nagaoka et al. 2019). Αυτή η απόκλιση είναι συγκρίσιμη με την αναμενόμενη αβεβαιότητα των μαθηματικών υπολογισμών.

Για παράδειγμα, οι Dimbylow et al. (2008) ανέφεραν ότι:

- ✓ οι διαφορές στην διαδικασία ή στον αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκαν για τον μεσοσταθμικό υπολογισμό ολόκληρου του σώματος, οδηγούν σε διακύμανση 15% του Ολόσωμου Μέσου SAR στα 3 GHz και ότι
- ✓ ο προσδιορισμός των διηλεκτρικών ιδιοτήτων των συνθηκών του δέρματος (ξηρό ή υγρό) κατέδειξε επίσης διακύμανση 10% του Ολόσωμου Μέσου SAR στα 1,8 GHz (Gabriel et al. 1996).

Όπως περιγράφεται στην παράγραφο “Εκτιμήσεις Έκθεσης εμβρύου” της ενότητας “Εξειδικεύσεις Ολόσωμης Μέσης Έκθεσης”, ο συντελεστής θέρμανσης των παιδιών είναι γενικά χαμηλότερος από αυτόν των ενηλίκων. Συνεπώς, η αυξημένη τιμή του SAR δεν οδηγεί σε υψηλότερη θερμοκρασία από αυτήν η οποία επιτρέπεται για τους ενήλικες και έτσι δεν θα επηρεάσει την υγεία.

Δεδομένου του μεγέθους της αβεβαιότητας και της έλλειψης οφέλους για την υγεία με την μείωση των **Επιπέδων Αναφοράς** προκειμένου να ληφθούν υπ’ όψιν τα άτομα μικρού αναστήματος, η ICNIRP δεν τροποποίησε τα Επίπεδα Αναφοράς στο εύρος συχνοτήτων > 30 MHz - 6 GHz.

Σημειώνεται επίσης ότι υπάρχουν διαφορετικές συνθήκες όπου για ολοκληρω το σώμα το **Επίπεδο Αναφοράς** είναι δυνατόν να οδηγήσει σε Ολοσωμο μέσο SAR το οποίο θα υπερβαίνει τους **Βασικούς Περιορισμούς**, έως και 35%. Αυτό απαντάται σε ανθρώπινα ομοιώματα με ασυνήθιστες στάσεις του σώματος, οι οποίες θα ήταν δύσκολο να διατηρηθούν για αρκετά μεγάλη χρονική διάρκεια, ώστε να προκαλέσουν αύξηση στην τιμή του SAR (Findlay και Dimbylow 2005, Findlay et al. 2009).

Ωστόσο, η αυξημένη τιμή του SAR είναι μικρή σε σύγκριση με τις σχετικές αβεβαιότητες και την συντηρητική φύση των ίδιων των **Βασικών Περιορισμών**, με αποτέλεσμα οι στάσεις του σώματος να μην είναι πιθανόν να απαντώνται στην καθημερινότητα και δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα, αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία.

Επίπεδα Αναφοράς Ολόσωμης Έκθεσης με Εύρος Συχνοτήτων > 6 GHz έως 300 GHz

Άνω των 6 GHz, τα RF-EMF ακολουθούν τα χαρακτηριστικά επίπεδου κύματος (συνθήκες Έκθεσης μακρινού πεδίου). Η Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}) ή η Προσπίπτουσα Ισοδύναμη Πυκνότητα Ισχύος (S_{eq}) χρησιμοποιείται ως **Επίπεδο Αναφοράς** σε αυτήν την περιοχή συχνοτήτων.

Το αντιδραστικό κοντινό πεδίο υφίσταται πολύ κοντά σε μια πηγή ραδιοσυχνοτήτων σε αυτήν την συχνοτική περιοχή. Το τυπικό όριο ανάμεσα στο αντιδραστικό κοντινό πεδίο και στο πεδίο Fresnel ορίζεται ως $\lambda/2\pi$ (π.χ. 8 mm στα 6 GHz).

Επειδή η Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}), η οποία χρησιμοποιείται για τα **Επίπεδα Αναφοράς** για συχνότητες άνω των 6 GHz, δεν συσχετίζεται κατάλληλα με την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (S_{ab}), η οποία χρησιμοποιείται για τους **Βασικούς Περιορισμούς** στην αντιδραστική περιοχή κοντινού πεδίου, τα **Επίπεδα Αναφοράς** δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης στο αντιδραστικό κοντινό πεδίο. Απαιτείται να αξιολογούνται οι **Βασικοί Περιορισμοί** για τέτοιες περιπτώσεις.

Η Ισχύς η οποία απορροφάται από το σώμα, μειώνεται εκθετικά από την επιφάνεια προς τις βαθύτερες περιοχές (βλέπε εξίσωση 23). Επομένως, η απορρόφηση ισχύος περιορίζεται κυρίως στην επιφάνεια του σώματος, για συχνότητες άνω των 6 GHz, όπου η συνολική απορρόφηση ισχύος ή το Ολόσωμο Μέσο SAR είναι περίπου ανάλογο με την εκτεθειμένη περιοχή της επιφάνειας του σώματος (Hirata et al. 2007; Gosselin et al. 2009; Kühn et al. 2009; Uusitupa et al. 2010).

Για παράδειγμα, σε μια πειραματική μελέτη όπου χρησιμοποιήθηκε θάλαμος αντήχησης (reverberation chamber), διαπιστώθηκε η ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του Ολόσωμου Μέσου SAR και της επιφάνειας του ανθρώπινου σώματος από 1 GHz έως 12 GHz (Flintoft et al. 2014).

Επειδή το Ολόσωμο Μέσο SAR είναι περίπου ανάλογο με την Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}) και την επιφάνεια του σώματος (και δεν εξαρτάται από την συχνότητα RF-EMF), η ICNIRP έχει επεκτείνει τα ολόσωμα **Επίπεδα Αναφοράς**, τα οποία ίσχυαν για συχνότητες κάτω των 6 GHz, έως 300 GHz. Η ICNIRP (1998) έθεσε ολόσωμα **Επίπεδα Αναφοράς** σε αυτό το εύρος (έως 10 GHz) στα $50 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ και $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (για επαγγελματική και γενικού πληθυσμού Έκθεση, αντίστοιχα).

Δεδομένου ότι δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι αυτά τα επίπεδα θα οδηγήσουν σε Εκθέσεις οι οποίες θα υπερβαίνουν τους ολόσωμους **Βασικούς Περιορισμούς** για συχνότητες άνω των 6 GHz ή ότι θα προκαλέσουν βλάβη, αυτές οι Κατευθυντήριες Οδηγίες διατηρούν τα **Επίπεδα Αναφοράς** των Κατευθυντηρίων Οδηγιών της ICNIRP (1998) για ολόσωμες συνθήκες Έκθεσης.

Η ίδια χωρική και χρονική μέση τιμή για τους **Βασικούς Περιορισμούς** του Ολόσωμου Μέσου SAR εφαρμόζονται στα αντίστοιχα **Επίπεδα Αναφοράς**. Επομένως, η Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}) θα πρέπει να υπολογίζεται ως ο μέσος όρος σε χρονικό σε διάστημα 30 min και χωρικά για χώρο ο οποίος καταλαμβάνεται από ένα ανθρώπινο σώμα (χώρος ολόκληρου του σώματος).

Επίπεδα Αναφοράς Τοπικής Έκθεσης με Εύρος Συχνοτήτων > 6 GHz έως 300 GHz

Τα **Επίπεδα Αναφοράς** της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ισχύος (S_{inc}) για συχνότητες άνω των 6 GHz για τοπική Έκθεση δύνανται να προκύψουν από τους **Βασικούς Περιορισμούς** (δηλαδή από την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (S_{ab})):

$$\text{Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος } S_{inc} = S_{ab} T^{-1} (\text{W}\cdot\text{m}^{-2}) \quad (29)$$

όπου T είναι η Διαπερατότητα (“Transmittance”), οριζόμενη ως εξής:

$$\text{Διαπερατότητα} = 1 - |\Gamma|^2 \quad (30)$$

Ο συντελεστής ανάκλασης Γ εξάγεται από τις διηλεκτρικές ιδιότητες των ιστών, την διαμόρφωση της επιφάνειας του σώματος, την προσπίπτουσα γωνία και την πόλωση.

Για εγκάρσια πρόσπτωση του ηλεκτρικού κύματος (Transverse Electric - wave incidence - TE), η γωνία η οποία αντιστοιχεί στην μέγιστη Διαπερατότητα είναι η ορθή γωνία προς την επιφάνεια του σώματος, ενώ για εγκάρσια πρόσπτωση του μαγνητικού κύματος (Transverse Magnetic - wave incidence - TM) ορίζεται ως η γωνία Brewster (η γωνία πρόσπτωσης στην οποία δεν υφίσταται ανάκλαση του TM κύματος).

Επιπλέον, για περιπτώσεις πρόσπτωσης κύματος RF-EMF υπό γωνία, οι Li et al. (2019) έχουν δείξει ότι η Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}) και η Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ενέργειας (U_{inc}) των κυμάτων TE, υπολογιζόμενες μεσοσταθμικά επί του σώματος (οριακή επιφάνεια), υπερεκτιμούν την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (S_{ab}) και την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας (U_{ab}) αντίστοιχα, ενώ η Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (S_{ab}) και η Απορροφώμενη Πυκνότητα Ενέργειας (U_{ab}) των κυμάτων TM γύρω από την γωνία Brewster, προσεγγίζουν την Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}) και την Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ενέργειας (U_{inc}) αντίστοιχα. Διαπίστωσαν επίσης ότι η κάθετη πρόσπτωση, θεωρείται πάντα το χειρότερο σενάριο σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας (Li et al. 2019).

Στις παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες, οι **Βασικοί Περιορισμοί** και τα **Επίπεδα Αναφοράς** εξάγονται από έρευνες οι οποίες υποθέτουν φυσιολογική πρόσπτωση σε ανθρώπινο ομοίωμα πολλαπλών φύλλων. Καθώς αυτό αντιπροσωπεύει την χειρότερη περίπτωση προσομοίωσης για τις περισσότερες περιπτώσεις, τα αποτελέσματα τα οποία λαμβάνονται και χρησιμοποιούνται σε αυτές τις Κατευθυντήριες Οδηγίες θα είναι γενικά συντηρητικά.

Η διακύμανση και η αβεβαιότητα της Διαπερατότητας για την περίπτωση της κάθετης γωνίας έχουν διερευνηθεί (Sasaki et al. 2017). Η Διαπερατότητα ασυμπτωτικά αυξάνεται από 0,4 σε 0,8 καθώς η συχνότητα αυξάνεται από 10 GHz σε 300 GHz. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν επίσης αναφερθεί και σε άλλες μελέτες (Kanbezaki et al. 2009, Foster et al. 2016, Hashimoto et al. 2017).

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα συχνοτικά χαρακτηριστικά της Διαπερατότητας, τα **Επίπεδα Αναφοράς** για την τοπική Έκθεση έχουν εξαχθεί ως εκθετικές συναρτήσεις της συχνότητας η οποία συνδέει τα $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ για 6 GHz με τα $100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ για 300 GHz (για επαγγελματική Έκθεση). Η ίδια μέθοδος εφαρμόζεται για την εξαγωγή των **Επιπέδων Αναφοράς** για τον γενικό πληθυσμό.

Για τους ίδιους λόγους οι οποίοι αναφέρονται στην ενότητα "**Επίπεδα Αναφοράς** Ολόσωμης Έκθεσης με Εύρος Συχνοτήτων από > 6 GHz έως 300 GHz", τα **Επίπεδα Αναφοράς** δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της συμμόρφωσης στο αντιδραστικό κοντινό πεδίο. Σε αυτές τις περιπτώσεις απαιτείται να αξιολογούνται οι **Βασικοί Περιορισμοί**.

Τα χρονικά και χωρικά χαρακτηριστικά είναι σχεδόν τα ίδια για την Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}) και την Απορροφώμενη Πυκνότητα Ισχύος (S_{ab}) στην επιφάνεια του σώματος για την κλίμακα η οποία εξετάζεται στους **Βασικούς Περιορισμούς**, π.χ. των 6 min και 4 cm^2 ή 1 cm^2 (επιπλέον κριτήριο για άνω των 30

GHz). Επομένως, εφαρμόζονται οι ίδιες συνθήκες μέτρησης για τα **Επίπεδα Αναφοράς** της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ισχύος (S_{inc}), όπως και για τους **Βασικούς Περιορισμούς** της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ισχύος (S_{ab}).

Επίπεδα Αναφοράς για Ρεύματα των Άκρων

Τα ρεύματα των άκρων ορίζονται ως τα ρεύματα τα οποία ρέουν διαμέσου των άκρων, π.χ. ποδοκνημική άρθρωση ή καρπός. Υψηλή τιμή του τοπικού **SAR**, είναι δυνατόν να εμφανιστεί σε αυτά τα μέρη του σώματος, λόγω της ανατομικής τους σύνθεσης. Η αναλογία όγκου των ιστών υψηλής αγωγιμότητας προς τους ιστούς χαμηλής αγωγιμότητας είναι μικρή στην ποδοκνημική άρθρωση και στον καρπό, με αποτέλεσμα τα ρεύματα να συγκεντρώνεται σε ιστούς υψηλής αγωγιμότητας, όπως είναι οι μύες, και συνεπώς να εντοπίζονται υψηλότερες τιμές του **SAR**. Αυτό το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο σε περιπτώσεις ανθρώπων οι οποίοι στέκονται όρθιοι στο επίπεδο του εδάφους, σε συνθήκες ολόσωμου συντονισμού.

Το τοπικό **SAR** στα άκρα (ποδοκνημική άρθρωση και καρπό) συσχετίζεται έντονα με το ρεύμα το οποίο ρέει μέσω των άκρων. Αν και το τοπικό **SAR** είναι γενικά δύσκολο να μετρηθεί άμεσα, ωστόσο το **SAR** των άκρων δύναται να εξαχθεί από το ρεύμα του άκρου (I), το οποίο δύναται να μετρηθεί σχετικά εύκολα, ως εξής:

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} = \frac{J^2}{\sigma \rho} = \frac{I^2}{\sigma \rho A^2} \quad (31)$$

όπου (J), και (A), είναι η πυκνότητα ρεύματος και η ενεργός επιφάνεια δέρματος, αντίστοιχα.

Επομένως, τα **Επίπεδα Αναφοράς** του ρεύματος των άκρων ορίζονται προκειμένου να αξιολογηθεί η τοπική τιμή του **SAR** στην ποδοκνημική άρθρωση και στον καρπό, ιδιαίτερα γύρω από την ποδοκνημική άρθρωση σε ένα γειωμένο ανθρώπινο σώμα, σε συνθήκες ολόσωμου συντονισμού.

Καθώς η συχνότητα αυξάνεται άνω της ολόσωμης συχνότητας συντονισμού, σε συνθήκες γείωσης, η δυνατότητα εντοπισμού του ρεύματος στα άκρα μειώνεται σταδιακά. Έτσι, σε υψηλότερες συχνότητες, η μέγιστη τιμή του τοπικού **SAR**, γενικώς δεν εμφανίζεται γύρω από τα άκρα και συνεπώς δεν είναι σχετική.

Ο Dimbylow (2002) απέδειξε ότι ρεύμα άκρου 1 A, σε 10 MHz έως 80 MHz, προκαλεί **SAR** από 530 W.kg^{-1} έως 970 W.kg^{-1} μετρούμενο μεσοσταθμικά επί 10 g στις ποδοκνημικές αρθρώσεις ενός γειωμένου ομοιώματος ενήλικου άρρενος. Σημειώνεται ότι το σχήμα της μετρούμενης περιοχής του ιστού 10-g δεν ήταν κυβικό, αλλά συνεχόμενο, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται υψηλότερες τιμές του **SAR** σε σχέση με τις αντίστοιχες ενός κυβικού ιστού.

Βασιζόμενη σε αυτήν την μελέτη, η ICNIRP ορίζει τα **Επίπεδα Αναφοράς** του ρεύματος των άκρων στα 100 mA και στα 45 mA για επαγγελματική και γενικού πληθυσμού Έκθεση αντίστοιχα, προκειμένου να διασφαλιστεί συντηρητικά η συμμόρφωση με τους **Βασικούς Περιορισμούς** του τοπικού **SAR** στα άκρα (π.χ., το μέγιστο τοπικό **SAR** στα άκρα για 100 mA ρεύμα θα ήταν μόνο 10 W.kg^{-1}). Οι Taguchi et al. (2018)

επιβεβαίωσαν την σχέση μεταξύ του SAR και του ρεύματος της ποδοκνημικής άρθρωσης από 10 MHz έως 100 MHz σε διάφορα ανατομικά ομοιώματα.

Ομοίως, ο Dimbylow (2001) υπολόγισε το τοπικό SAR, για 10 g (σε συνεχόμενο ιστό), για ρεύμα καρπού 100 mA, το οποίο είχε ως αποτέλεσμα 27 W.kg^{-1} στα 100 kHz, μειούμενα σε 13 W.kg^{-1} στα 10 MHz. Λαμβάνοντας υπ' όψιν την μείωση του SAR για κυβικό σχήμα ιστού, σε σύγκριση με τον συνεχόμενο ιστό, το ρεύμα άκρου 100 mA στον καρπό θα εξασφαλίσει επίσης συντηρητικά την συμμόρφωση με τους Βασικούς Περιορισμούς του τοπικού SAR στον καρπό. Με βάση αυτό, η ICNIRP αναθεώρησε το χαμηλότερο εύρος συχνοτήτων στα 100 kHz, από 10 MHz στο ICNIRP (1998).

Όπως φαίνεται από την εξίσωση (31), το τοπικό SAR είναι ανάλογο της τετραγωνικής τιμής του ρεύματος των άκρων. Στην εξίσωση (31), ωστόσο, η ενεργός επιφάνεια είναι μια σταθερά για την συσχέτιση του ρεύματος των άκρων με το τοπικό Μέσο SAR σε μάζα 10 g και εξαρτάται όχι μόνο από το (πραγματικό) εμβαδόν της περιοχής, αλλά επίσης από την κατανομή/αναλογία του ιστού και την αγωγιμότητα ιστών.

Επειδή η αγωγιμότητα αυξάνεται ασυμπτωτικά, καθώς η συχνότητα αυξάνεται από 100 kHz σε 110 MHz, η σχέση μεταξύ της τιμής του τοπικού SAR και του ρεύματος των άκρων δεν είναι σταθερή σε αυτό το εύρος συχνοτήτων. Για παράδειγμα, ο Dimbylow (2002) έδειξε ότι η τιμή του τοπικού SAR λόγω σταθερού ρεύματος άκρου, υποδιπλασιάστηκε καθώς η συχνότητα αυξήθηκε από 10 MHz σε 80 MHz. Αυτό υποδηλώνει ότι το ανώτατο όριο της συχνότητας για τα Επίπεδα Αναφοράς του ρεύματος των άκρων θα μπορούσε δυνητικά να μειωθεί, σε σχέση με το ανώτερο όριο της περιοχής του εύρους συχνοτήτων 10 MHz έως 110 MHz των Κατευθυντηρίων Οδηγιών της ICNIRP (1998).

Ωστόσο, λόγω της έλλειψης έρευνας σε αυτό το ζήτημα, η ICNIRP έχει διατηρήσει το ίδιο ανώτερο εύρος συχνοτήτων όπως στις Κατευθυντήριες Οδηγίες της ICNIRP (1998).

Επειδή τα Επίπεδα Αναφοράς του ρεύματος των άκρων, σχετίζονται με τους Βασικούς Περιορισμούς της τοπικής τιμής του SAR, εφαρμόζεται το ίδιο χρονικό διάστημα (δηλαδή, 6 min). Επιπλέον, καθώς η τετραγωνική τιμή του ρεύματος του άκρου είναι ανάλογη με την τοπική τιμή του SAR, θα πρέπει να χρησιμοποιείται για τον χρονικό υπολογισμό της μέσης τιμής (όπως περιγράφεται στην ενότητα "Φυσικά Μεγέθη και Μονάδες").

Ας σημειωθεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας για εκθέσεις κάτω των 6 min, αφορά μόνο σε συχνότητες υψηλότερες της συχνότητας των 400 MHz, η οποία συχνότητα είναι υψηλότερη από το ανώτερο όριο συχνοτήτων για τα ρεύματα των άκρων. Επομένως, θέσπιση Επιπέδων Αναφοράς για ρεύματα των άκρων δεν είναι απαραίτητη για εκθέσεις < 6 min.

Επίπεδα Αναφοράς για Βραχεία Έκθεση (<6 min)

Τα Επίπεδα Αναφοράς για βραχεία Έκθεση εξάγονται με σκοπό να αντιστοιχούν στους Βασικούς Περιορισμούς βραχέων Εκθέσεων, οι οποίοι έχουν οριστεί σε όρους Ειδικής Απορρόφησης Ενέργειας (SA) και Απορροφώμενης Πυκνότητας Ενέργειας (U_{ab}), για συχνότητες $\leq 6 \text{ GHz}$ και $> 6 \text{ GHz}$, αντίστοιχα.

Τα **Επίπεδα Αναφοράς** εξάγονται από μαθηματικούς υπολογισμούς με την βοήθεια ανθρώπινων ομοιωμάτων, πολλαπλών φύλλων τα οποία εκτίθενται σε ένα επίπεδο κύμα, ή σε τυπικές πηγές, τα οποία χρησιμοποιούνται πλησίον του σώματος, όπως μια διπολική κεραία.

Τα **Επίπεδα Αναφοράς** μεταβάλλονται ως συνάρτηση των χρονικών διαστημάτων, με σκοπό να αντιστοιχούν τους **Βασικούς Περιορισμούς** της **Απορροφώμενης Πυκνότητας Ενέργειας (U_{ab})** (> 6 GHz), με μια παρόμοια συνάρτηση εφαρμοζόμενη για συχνότητες < 6 GHz για την αντιστοίχιση των **Βασικών Περιορισμών** της Ειδικής Απορρόφησης Ενέργειας (**SA**).

Σημειώνεται ότι η χρονική συνάρτηση των **Βασικών Περιορισμών** της Απορροφώμενης Πυκνότητας Ενέργειας (U_{ab}) και των αντιστοιχούντων **Επιπέδων Αναφοράς** της **Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ενέργειας U_{inc}** είναι περισσότερο συντηρητική από την αντίστοιχη των **Βασικών Περιορισμών** της Ειδικής Απορρόφησης Ενέργειας (**SA**) και των αντιστοιχούντων **Επιπέδων Αναφοράς** της Προσπίπτουσας Πυκνότητας Ενέργειας (U_{inc}). Αυτό σημαίνει ότι τα **Επίπεδα Αναφοράς** είναι περισσότερο συντηρητικά για συχνότητες άνω από ότι κάτω από τα 6 GHz.

Επειδή τα **Επίπεδα Αναφοράς** βασίζονται σε ομοίωμα πολλαπλών φύλλων, η αβεβαιότητα η οποία περιλαμβάνεται στην δοσιμετρία δεν είναι σημαντική. Αντίθετα, η απλή προσομοίωση είναι πιθανώς υπερβολικά συντηρητική για ένα ρεαλιστικό σχήμα ανθρώπινου σώματος. Αυτή η υπερεκτίμηση μειώνεται καθώς η συχνότητα αυξάνεται, επειδή το βάθος διείσδυσης είναι μικρό σε σχέση με τις διαστάσεις του σώματος. Οι μορφολογικές διαφοροποιήσεις επίσης δεν είναι σημαντικές.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Adair ER, Blick DW, Allen SJ, Mylacraine KS, Ziriach JM, Scholl DM. Thermophysiological responses of human volunteers to whole body RF exposure at 220 MHz. *Bioelectromagnetics* 26:448-461; 2005.

Adair ER, Mylacraine KS, Allen SJ. Thermophysiological consequences of whole body resonant RF exposure (100 MHz) in human volunteers. *Bioelectromagnetics* 24:489-501; 2003.

Adair ER, Mylacraine KS, Cobb BL. Partial-body exposure of human volunteers to 2450MHz pulsed or CWfields provokes similar thermoregulatory responses. *Bioelectromagnetics* 22:246-259; 2001.

Akimoto S, Kikuchi S, Nagaoka T, Saito K, Watanabe S, Takahashi M, Ito K. Evaluation of specific absorption rate for a fetus by portable radio terminal close to the abdomen of a pregnant woman. *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 58:3859-3865; 2010.

Alekseev S, Radzievsky A, Szabo I, Ziskin M. Local heating of human skin by millimeter waves: effect of blood flow. *Bioelectromagnetics* 26:489-501; 2005.

Asakura H. Fetal and neonatal thermoregulation. *J Nippon Med Sch* 71:360-370; 2004.

Bakker J, Paulides M, Christ A, Kuster N, Van Rhoon G. Assessment of induced SAR in children exposed to electromagnetic plane waves between 10 MHz and 5.6 GHz. *Phys Med Biol* 55:3115; 2010.

Bakker JF, Paulides MM, Neufeld E, Christ A, Kuster N, Rhoon GCv. Children and adults exposed to electromagnetic fields at the ICNIRP Reference levels: theoretical assessment of the induced peak temperature increase. *Phys Med Biol* 56:4967; 2011.

Bernardi P, Cavagnaro M, Pisa S, Piuze E. SAR distribution and temperature increase in an anatomical model of the human eye exposed to the field radiated by the user antenna in a wireless LAN. *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 46:2074-2082; 1998.

Bernardi P, Cavagnaro M, Pisa S, Piuze E. Specific absorption rate and temperature increases in the head of a cellular-phone user. *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 48:1118-1126; 2000.

Brockow T, Wagner A, Franke A, Offenbacher M, Resch KL. A randomized controlled trial on the effectiveness of mild water-filtered near infrared whole-body hyperthermia as an adjunct to a standard multimodal rehabilitation in the treatment of fibromyalgia. *Clin J Pain* 23:67-75; 2007.

Buccella C, De Santis V, Feliziani M. Prediction of temperature increase in human eyes due to RF sources. *IEEE Trans Electromagnet Compat* 49(4):825-833; 2007.

Conil E, Hadjem A, Lacroux F, Wong MF, Wiart J. Variability analysis of SAR from 20 MHz to 2.4 GHz for different adult and child models using finite-difference time-domain. *Phys Med Biol* 53:1511-1525; 2008.

Diao Y, Leung SW, He Y, Sun W, Chan KH, Siu YM, Kong R. Detailed modeling of palpebral fissure and its influence on SAR and temperature rise in human eye under GHz exposures. *Bioelectromagnetics* 37:256-263; 2016.

Dimbylow P. The relationship between localised SAR in the arm and wrist current. *Radiat Protect Dosim* 95:177-179; 2001.

Dimbylow P. Resonance behaviour of whole-body averaged specific energy absorption rate (SAR) in the female voxel model, Naomi. *Phys Med Biol* 50:4053-4063; 2005.

Dimbylow P. SAR in the mother and foetus for RF plane wave irradiation. *Phys Med Biol* 52:3791-3802; 2007.

Dimbylow PJ. FDTD calculations of the whole-body averaged SAR in an anatomically realistic voxel model of the human body from 1 MHz to 1 GHz. *Phys Med Biol* 42:479-490; 1997.

Dimbylow PJ. Fine resolution calculations of SAR in the human body for frequencies up to 3 GHz. *Phys Med Biol* 47:2835-2846; 2002.

Dimbylow PJ, Hirata A, Nagaoka T. Intercomparison of wholebody averaged SAR in European and Japanese voxel phantoms. *Phys Med Biol* 53:5883-5897; 2008.

Dufour A and Candas V. Ageing and thermal responses during passive heat exposure: sweating and sensory aspects. *Eur J Appl Physiol* 100:19-26; 2007.

Durney CH, Massoudi H, Iskander MF. Radiofrequency radiation dosimetry handbook. Fourth ed. Brooks AFB, TX: USAF School of Aerospace Medicine (USAFSAM-TR-85-73).

Edwards MJ, Saunders RD, Shiota K. Effects of heat on embryos and foetuses. *Int J Hypertherm* 19:295-324; 2003.

Emery A, Kramar P, Guy A, Lin J. Microwave induced temperature rises in rabbit eyes in cataract research. *J Heat Transfer* 97:123-128; 1975.

Findlay R, Dimbylow P. Effects of posture on FDTD calculations of specific absorption rate in a voxel model of the human body. *Phys Med Biol* 50:3825-3835; 2005.

Findlay R, Lee A-K, Dimbylow P. FDTD calculations of SAR for child voxel models in different postures between 10 MHz and 3 GHz. *Radiat Protect Dosim* 135: 226-231; 2009.

Flintoft I, Robinson M, Melia G, Marvin A, Dawson J. Average absorption cross-section of the human body measured at 1–12 GHz in a reverberant chamber: results of a human volunteer study. *Phys Med Biol* 59:3297-3317; 2014.

Flyckt V, Raaymakers B, Kroeze H, Lagendijk J. Calculation of SAR and temperature rise in a high-resolution vascularized model of the human eye and orbit when exposed to a dipole antenna at 900, 1500 and 1800 MHz. *Phys Med Biol* 52:2691-2701; 2007.

Foster KR, Ziskin MC, Balzano Q. Thermal response of human skin to microwave energy: a critical review. *Health Phys* 111:528-541; 2016.

Foster KR, Ziskin MC, Balzano Q, Bit-Babik G. Modeling tissue heating from exposure to radiofrequency energy and relevance of tissue heating to exposure limits: heating factor. *Health Phys* 115:295-307; 2018.

Fujimoto M, Hirata A, Wang J, Fujiwara O, Shiozawa T. FDTD-derived correlation of maximum temperature increase and peak SAR in child and adult head models due to dipole antenna. *IEEE Trans Electromagnet Compat* 48:240-247; 2006.

Funahashi D, Hirata A, Kodera S, Foster KR. Area-averaged transmitted power density at skin surface as metric to estimate surface temperature elevation. *IEEE Access* 6:77665-77674; 2018.

Gabriel S, Lau RW, Gabriel C. The dielectric properties of biological tissues: III. parametric models for the dielectric spectrum of tissues. *Phys Med Biol* 41:2271-2293; 1996.

Gandhi OP, Li Q-X, Kang G. Temperature rise for the human head for cellular telephones and for peak SARs prescribed in safety guidelines. *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 49:1607-1613; 2001.

Gosselin M-C, Christ A, Kühn S, Kuster N. Dependence of the occupational exposure to mobile phone base stations on the properties of the antenna and the human body. *IEEE Trans Electromagnet Compat* 51: 227-235; 2009.

Gowland P, De Wilde J. Temperature increase in the fetus due to radio frequency exposure during magnetic resonance scanning. *Phys Med Biol* 53:L15–L18; 2008.

Guy AW, Lin JC, Kramar PO, Emery AF. Effect of 2450-MHz radiation on the rabbit eye. *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 23:492-498; 1975.

Hashimoto Y, Hirata A, Morimoto R, Aonuma S, Laakso I, Jokela K, Foster KR. On the averaging area for Incident Power Density for human exposure limits at frequencies over 6 GHz. *Phys Med Biol* 62:3124-3138; 2017.

HeW, Xu B, Gustafsson M, Ying Z, He S. RF compliance study of temperature elevation in human head model around 28 GHz for 5G user equipment application: simulation analysis. *IEEE Access* 6:830-838; 2018.

Hirata A. Temperature increase in human eyes due to near field and far-field exposures at 900 MHz, 1.5 GHz, and 1.9 GHz. *IEEE Trans Electromagnet Compat* 47:68-76; 2005.

Hirata A, Asano T, Fujiwara O. FDTD analysis of human bodycore temperature elevation due to RF far-field energy prescribed in the ICNIRP guidelines. *Phys Med Biol* 52:5013-5023; 2007.

Hirata A, Asano T, Fujiwara O. FDTD analysis of body-core temperature elevation in children and adults for whole-body exposure. *Phys Med Biol* 53:5223-5238; 2008.

Hirata A, Fujimoto M, Asano T, Jianqing W, Fujiwara O, Shiozawa T. Correlation between maximum temperature increase and peak SAR with different average schemes and masses. *IEEE Trans Electromagn Compat* 48:569-578; 2006.

Hirata A, Fujiwara O. The correlation between mass-averaged SAR and temperature elevation in the human head model exposed to RF near-fields from 1 to 6 GHz. *Phys Med Biol* 54:7227-7238; 2009.

Hirata A, Fujiwara O, Nagaoka T, Watanabe S. Estimation of whole-body average SAR in human models due to planewave exposure at resonance frequency. *IEEE Trans Electromagnet Compat* 52:41-48; 2010.

Hirata A, Kodera S, Wang J, Fujiwara O. Dominant factors influencing whole-body average SAR due to far-field exposure in whole-body resonance frequency and GHz regions. *Bioelectromagnetics* 28:484-487; 2007.

Hirata A, Laakso I, Ishii Y, Nomura T, Chan KH. Computation of temperature elevation in a fetus exposed to ambient heat and radio frequency fields. *Numerical Heat Transfer, Part A: Appl* 65:1176-1186; 2014.

Hirata A, Laakso I, Oizumi T, Hanatani R, Chan KH, Wiart J. The relationship between specific absorption rate and temperature elevation in anatomically based human body models for planewave exposure from 30MHz to 6 GHz. *PhysMed Biol* 58:903-921; 2013.

Hirata A, Nagaya Y, Ito N, Fujiwara O, Nagaoka T, Watanabe S. Conservative estimation of whole-body average SAR in infant model for 0.3-6 GHz far-field exposure. *Phys Med Biol* 129:2102-2107; 2009.

Hirata A, Shiozawa T. Correlation of maximum temperature increase and peak SAR in the human head due to handset antennas. *IEEE Trans Microw Theory Tech* 51:1834-1841; 2003.

Hirata A, Sugiyama H, Fujiwara O. Estimation of core temperature elevation in humans and animals for whole-body averaged SAR. *Prog Electromagnet Res* 99:53-70; 2009.

Hirata A, Watanabe S, Fujiwara O, Kojima M, Sasaki K, Shiozawa T. Temperature elevation in the eye of anatomically based human head models for plane-wave exposures. *Phys Med Biol* 52:6389-6399; 2007.

Hirata A, Yanase K, Laakso I, Chan KH, Fujiwara O, Nagaoka T, Watanabe S, Conil E, Wiart J. Estimation of the whole-body averaged SAR of grounded human models for plane wave exposure at respective resonance frequencies. *Phys Med Biol* 57:8427-8442; 2012.

Ibrahim A, Dale C, Tabbara W, Wiart J. Analysis of the temperature increase linked to the power induced by RF source. *Prog Electromagn Res* 52:23-46; 2005.

ICNIRP. Review of concepts, quantities, units, and terminology for non-ionizing radiation protection. *Health Phys* 49:1329-1362; 1985.

ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 74:494-521; 1998.

ICNIRP. Review of scientific evidence on dosimetry, biological effects, epidemiological observations, and health consequences concerning exposure to high frequency electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Munich: International Commission on Non-ionizing Radiation Protection; 2009.

ICNIRP. Statement on the "guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)." *Health Phys* 97:257-258; 2009.

ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys* 99:818-836; 2010.

Kühn S, Jennings W, Christ A, Kuster N. Assessment of induced radio-frequency electromagnetic fields in various anatomical human body models. *Phys Med Biol* 54:875-90; 2009.

Kühn S, Jennings W, Christ A, Kuster N. Assessment of induced radio-frequency electromagnetic fields in various anatomical human body models. *Phys Med Biol* 54:875-890; 2009.

Kanezaki A, Hirata A, Watanabe S, Shirai H. Effects of dielectric permittivities on skin heating due to millimeter wave exposure. *Biomed Eng Online* 8:20; 2009.

Karampatzakis A, Samaras T. Numerical modeling of heat and mass transfer in the human eye under millimeter wave exposure. *Bioelectromagnetics* 34:291-299; 2013.

Kawai H, Nagaoka T, Watanabe S, Saito K, Takahashi M, Ito K. Computational dosimetry in embryos exposed to electromagnetic plane waves over the frequency range of 10 MHz–1.5 GHz. *Phys Med Biol* 55:N1; 2009.

Kodera S, Hirata A, Funahashi D, Watanabe S, Jokela K, Croft RJ. Temperature rise for brief radio-frequency exposure below 6 GHz. *IEEE Access* 6:65737-65746; 2018.

Laakso I. Assessment of the computational uncertainty of temperature rise and SAR in the eyes and brain under far-field exposure from 1 to 10 GHz. *Phys Med Biol* 54:3393-3404; 2009.

Laakso I, Hirata A. Dominant factors affecting temperature rise in simulations of human thermoregulation during RF exposure. *Physics in Medicine and Biology* 56:

7449-7471; 2011.

Laakso I, Morimoto R, Heinonen J, Jokela K, Hirata A. Human exposure to pulsed fields in the frequency range from 6 to 100 GHz. *Phys Med Biol* 62:6980-6992; 2017.

Lee A-K, Choi H-D. Determining the influence of Korean population variation on whole-body average SAR. *Phys Med Biol* 57:2709-2725; 2012.

Li K, Sasaki K, Watanabe S, Shirai H. Relationship between power density and surface temperature elevation for human skin exposure to electromagnetic waves with oblique incidence angle from 6 GHz to 1 THz. *Phys Med Biol* 64:065016; 2019.

McIntosh RL, Anderson V. SAR versus VAR, and the size and shape that provide the most appropriate RF exposure metric in the range of 0.5–6 GHz. *Bioelectromagnetics* 32:312-321; 2011.

Morimoto R, Hirata A, Laakso I, Ziskin MC, Foster KR. Time constants for temperature elevation in human models exposed to dipole antennas and beams in the frequency range from 1 to 30 GHz. *Phys Med Biol* 62:1676-1699; 2017.

Morimoto R, Laakso I, De Santis V, Hirata A. Relationship between peak spatial-averaged specific absorption rate and peak temperature elevation in human head in frequency range of 1-30 GHz. *Phys Med Biol* 61:5406-5425; 2016.

Nagaoka T, Niwa T, Watanabe S. Specific absorption rate in mothers and fetuses in the second and third trimesters of pregnancy. *Int J Microwave Opt Tech* 9:34-38; 2014.

Nagaoka T, Togashi T, Saito K, Takahashi M, Ito K, Watanabe S. An anatomically realistic whole-body pregnant-woman model and specific absorption rates for pregnant-woman exposure to electromagnetic plane waves from 10 MHz to 2 GHz. *Phys Med Biol* 52:6731-6745; 2007.

Nagaoka T, Watanabe S, Sakurai K, Kunieda E, Taki M, Yamanaka Y. Development of realistic high-resolution whole-body voxel models of Japanese adult males and females of average height and weight, and application of models to radio-frequency electromagnetic-field dosimetry. *Phys Med Biol* 49:1-15; 2004.

Nagaoka T, Watanabe S. Development of voxel models adjusted to ICRP reference children and their whole-body averaged SARs for whole-body exposure to electromagnetic fields from 10 MHz to 6 GHz. *IEEE Access* 7:135909-135916; 2019.

Nelson DA, Curran AR, Nyberg HA, Marttila EA, Mason PA, Ziriak JM. High-resolution simulations of the thermophysiological effects of human exposure to 100 MHz RF energy. *Phys Med Biol* 58:1947-1968; 2013.

Oizumi T, Laakso I, Hirata A, Fujiwara O, Watanabe S, Taki M, Kojima M, Sasaki H, Sasaki K. FDTD analysis of temperature elevation in the lens of human and rabbit models due to near-field and far-field exposures at 2.45 GHz. *Radiat Protect Dosim* 155:284-291; 2013.

Razmadze A, Shoshiashvili L, Kakulia D, Zaridze R, Bit-Babik G, Faraone A. Influence of specific absorption rate averaging schemes on correlation between mass-averaged specific absorption rate and temperature rise. *Electromagnetics* 29:77-90; 2009.

Samaras T, Kalampaliki E, Sahalos JN. Influence of thermophysiological parameters on the calculations of temperature rise in the head of mobile phone users. *IEEE Trans Electromag Compat* 49:936-939; 2007.

Sasaki K, Mizuno M, Wake K, Watanabe S. Monte Carlo simulations of skin exposure to electromagnetic field from 10 GHz to 1 THz. *Phys Med Biol* 62:6993-7010; 2017.

Sasaki K, Wake K, Watanabe S. Measurement of the dielectric properties of the epidermis and dermis at frequencies from 0.5 GHz to 110 GHz. *Phys Med Biol* 59:4739; 2014.

Taguchi K, Laakso I, Aga K, Hirata A, Diao Y, Chakarothai J, Kashiwa T. Relationship of external field strength with local and whole-body averaged specific absorption rates in anatomical human models. *IEEE Access* 6:70186-70196; 2018.

Takei R, Nagaoka T, Nishino K, Saito K, Watanabe S, Takahashi M. Specific absorption rate and temperature increase in pregnant women at 13, 18, and 26 weeks of gestation due to electromagnetic wave radiation from a smartphone. *IEICE Comm Exp: 2018XBL0026*; 7(6):212-217; 2018.

Tateno A, Akimoto S, Nagaoka T, Saito K, Watanabe S, Takahashi M, Ito K. Specific absorption rates and temperature elevations due to wireless radio terminals in proximity to a fetus at gestational ages of 13, 18, and 26 weeks. *IEICE Trans Comm* 97:2175-2183; 2014.

Uusitupa T, Laakso I, Ilvonen S, Nikoskinen K. [SAR](#) variation study from 300 to 5000 MHz for 15 voxel models including different postures. *Phys Med Biol* 55:1157-1176; 2010.

Van Leeuwen GM, Legendijk JJ, Van Leersum BJ, Zwamborn AP, Hornsleth SN, Kotte AN. Calculation of change in brain temperatures due to exposure to a mobile phone. *Phys Med Biol* 44:2367-2379; 1999.

Vermeeren G, Joseph W, Olivier C, Martens L. Statistical multipath exposure of a human in a realistic electromagnetic environment. *Health Phys* 94:345-354; 2008.

Wainwright P. Computational modeling of temperature rises in the eye in the near field of radiofrequency sources at 380, 900 and 1800 MHz. *Phys Med Biol* 52:3335-3350; 2007.

Wang J, Fujiwara O. FDTD computation of temperature rise in the human head for portable telephones. *IEEE Trans Microwave Theory Tech* 47:1528-1534; 1999.

Ziskin MC, Morrissey J. Thermal thresholds for teratogenicity, reproduction, and development. *Int J Hypertherm* 27:374-387; 2011.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΠΙΒΛΑΒΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΥΓΕΙΑ

Εισαγωγή

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) έχει πραγματοποιήσει μια σε βάθος ανασκόπηση της βιβλιογραφίας των επιπτώσεων των ραδιοκυματικών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην υγεία, η οποία δημοσιεύθηκε ως “Κείμενο Δημόσιας Διαβούλευσης Κριτηρίων Περιβαλλοντικής Υγείας (Public Consultation Environmental Health Criteria Document)” το 2014. Αυτή η ανεξάρτητη ανασκόπηση είναι η πλέον περιεκτική και διεξοδική εκτίμηση των δυσμενών επιπτώσεων των RF-EMF στην υγεία.

Επιπλέον, η Επιστημονική Επιτροπή για τους Πρόσφατα Αναγνωρισμένους Κινδύνους για την Υγεία (Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks - SCENIHR), μία πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, συνέταξε επίσης Έκθεση σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία, οι οποίες είναι δυνατόν να προκληθούν από την Έκθεση σε Η/Μ πεδία (SCENIHR 2015).

Επίσης, η Σουηδική Αρχή για την Ασφάλεια της Ακτινοβολίας (Swedish Radiation Safety Authority - SSM) έχει εκπονήσει αρκετές διεθνείς αναφορές σχετικά με αυτό το θέμα (SSM 2015, 2016, 2018).

Κατά συνέπεια, οι παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες έχουν χρησιμοποιήσει αυτές τις ανασκοπήσεις της βιβλιογραφίας ως βάση για την εκτίμηση των πιθανών κινδύνων της υγείας οι οποίοι σχετίζονται με την Έκθεση σε RF-EMF, παρά παρέχοντας μία επιπλέον ανασκόπηση μεμονωμένων ερευνών.

Ωστόσο, για λόγους πληρότητας, η ICNIRP αξιολόγησε περισσότερο πρόσφατες έρευνες οι οποίες δημοσιεύθηκαν μετά τις ανασκοπήσεις των Οργανισμών WHO, SCENIHR και SSM, για την ανάπτυξη των τρεχουσών Κατευθυντηρίων Οδηγιών (ημερομηνία λήξης 1η Σεπτεμβρίου 2019). Η συζήτηση στην συνέχεια, της αποτίμησης της ICNIRP της βιβλιογραφίας των ραδιοκυμάτων σε σχέση με την υγεία, παρέχει μια βραχεία επισκόπηση της βιβλιογραφίας και έναν περιορισμένο αριθμό παραδειγμάτων, με στόχο να κατανοηθεί η επισκόπηση και τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η ICNIRP.

Η σύνοψη των ερευνών σχετικά με τις βιολογικές επιπτώσεις και τις επιπτώσεις στην υγεία των RF-EMF, οι οποίες παρουσιάζονται στην συνέχεια, αναφέρεται στις επιπτώσεις στα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού, στις λειτουργίες ή σε συγκεκριμένες ασθένειες. Αυτή η έρευνα αναζητά και παρέχει στοιχεία αναγκαία για τον καθορισμό των κατωφλίων των βλαπτικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία.

Οι έρευνες για τον καθορισμό αυτών των κατωφλίων αφορούσαν σε:

- ✓ πειραματικές δοκιμές σε κύτταρα, ζώα και ανθρώπους και
- ✓ μελέτες παρατήρησης επί ανθρώπων κατά τις οποίες αξιολογήθηκαν οι σχέσεις μεταξύ των RF-EMF και μια σειράς πιθανών επιπτώσεων στην υγεία.

Οι πειραματικές μελέτες έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι σε θέση να ελέγχουν μεγάλο αριθμό πιθανών συνυπαρχόντων παραγόντων και να διαχειρίζονται την Έκθεση των

RF-EMF. Ωστόσο, περιορίζονται οι μελέτες αυτές σε σχέση με την δυνατότητα να πραγματοποιούνται συγκρίσεις με ρεαλιστικά περιβάλλοντα Έκθεσης, εφαρμόζοντας επαρκείς χρονικές περιόδους Έκθεσης για την αξιολόγηση πολλών ασθενειών και, στην περίπτωση της *in vitro* και της έρευνας σε ζώα, μπορεί επίσης να είναι δύσκολη η συσχέτιση των αποτελεσμάτων με τον άνθρωπο.

Η επιδημιολογική έρευνα σχετίζεται στενότερα με την υγεία του πληθυσμού, αλλά είναι κυρίως παρατηρητική και, επομένως, ανάλογα με τον τύπο των μελετών, υπεισέρχονται διάφοροι τύποι προκατάληψης / μεροληψίας ('bias') και λαθών.

Αυτά περιλαμβάνουν σύγχυση (confounding), προκατάληψη / μεροληψία επιλογής (selection bias), προκατάληψη πληροφοριών (information bias), αντίστροφη αιτιότητα (reverse causality) και εσφαλμένη ταξινόμηση Έκθεσης (exposure misclassification).

Γενικά, οι μελέτες κοόρτης μακροπρόθεσμης προοπτικής (prospective cohort studies) επηρεάζονται λιγότερο από προκατάληψη, αλλά απαιτούνται μεγάλα μεγέθη δείγματος για σπάνιες ασθένειες. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να εξετάζεται η έρευνα σε ένα ευρύ φάσμα τύπων μελετών προκειμένου να καταλήξουμε σε χρήσιμα συμπεράσματα τα οποία αφορούν στην σχέση μεταξύ RF-EMF βλαπτικών επιπτώσεων στην υγεία.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η ICNIRP βασίζει τις Κατευθυντήριες Οδηγίες της σε τεκμηριωμένες¹⁰ δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Αυτό καθιστά σαφή την διαφορά μεταξύ βιολογικού και βλαπτικού αποτελέσματος στην υγεία ως σημαντική διάκριση, όπου μόνο οι δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία απαιτούν περιορισμούς για την προστασία της υγείας των ανθρώπων.

Η έρευνα για τις επιπτώσεις στην υγεία των RF-EMF τείνει να επικεντρώνεται σε μερικούς τομείς ιδιαίτερου ενδιαφέροντος και ανησυχίας, με αποτέλεσμα άλλοι τομείς να λαμβάνουν ελάχιστη ή καθόλου προσοχή. Δεν υπάρχει επαρκής έρευνα για πιθανές σχέσεις μεταξύ των RF-EMF και του σκελετικού, μυϊκού, αναπνευστικού, πεπτικού και απεκκριτικού συστήματος και επομένως αυτά δεν εξετάζονται περαιτέρω.

Αυτή η επισκόπηση εξετάζει την πιθανότητα διαφορετικοί τύποι Έκθεσης των RF-EMF να επιδρούν βλαπτικά στην υγεία, συμπεριλαμβανομένων των ημιτονοειδών (π.χ. συνεχούς κύματος) και των μη-ημιτονοειδών (π.χ. παλμικών) RF-EMF, καθώς και για οξείες και χρόνιες Εκθέσεις.

ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

Ηλεκτρική Δραστηριότητα Εγκεφάλου και Γνωσιακή Λειτουργικότητα

Η έρευνα επί ανθρώπων σχετικά με τις υψηλότερες γνωστικές λειτουργίες έχει διενεργηθεί για επίπεδα εντός των τιμών των **Βασικών Περιορισμών** της ICNIRP (1998). Αυτή η έρευνα αξιολογήθηκε κυρίως από μετρήσεις ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος – ΗΕΓ και την μέτρηση της αιματικής εγκεφαλικής

¹⁰ Περαιτέρω λεπτομέρειες σχετικά με τον όρο “επιβεβαιωμένα” μπορούν να αναζητηθούν στο κυρίως κείμενο των Κατευθυντηρίων Οδηγιών.

ροής (υψηλής ευαισθησίας μετρήσεις της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου και της ροής/μεταβολισμού του αίματος, αντίστοιχα).

Οι περισσότερες διπλά τυφλές πειραματικές μελέτες σε ανθρώπους σχετικά με την γνωσιακή απόδοση του εγκεφάλου, αιματική εγκεφαλική ροή ή μετρήσεις προκλητών δυναμικών (παράγωγο του του ΗΕΓ) της γνωσιακής λειτουργίας, δεν ανέδειξαν κάποια σχέση με την RF-EMF Έκθεση.

Έχουν αναφερθεί ορισμένα σποραδικά ευρήματα, αλλά αυτά δεν αναδεικνύουν ένα σταθερό ή λογικό μοτίβο. Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα μεγάλου αριθμού στατιστικών συγκρίσεων και περιστασιακών τυχαίων ευρημάτων. Κατά συνέπεια, δεν υπάρχουν τεκμηριωμένες αναφορές για RF-EMF τα οποία να επηρεάζουν δυσμενώς τις μετρήσεις απόδοσης, αιματικής εγκεφαλικής ροής ή προκλητών δυναμικών σχετιζόμενων με την γνωσιακή λειτουργία.

Μελέτες οι οποίες αναλύουν τις συνιστώσες των συχνοτήτων του ΗΕΓ έχουν αποδείξει αξιόπιστα ότι η ζώνη των συχνοτήτων άλφα (8–13 Hz), σε κατάσταση εγρήγορσης, και η ζώνη των συχνοτήτων “ατράκτου ύπνου (sleep spindle)” (10–14 Hz) στο ΗΕΓ ύπνου, επηρεάζονται από την Έκθεση σε RF-EMF με SAR < 2 W.kg⁻¹, αλλά δεν υπάρχουν στοιχεία ότι αυτά σχετίζονται με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία (π.χ., Loughran et al. 2012).

Τόσο οι έρευνες επί τρωκτικών όσο και επί πρωτεύοντων θηλαστικών πλην ανθρώπου, έχουν δείξει μία μείωση της απόδοσης της τροφο-ενισχυόμενης μνήμης, έπειτα από Έκθεση σε RF-EMF σε Ολόσωμο Μέσο SAR > 5 W.kg⁻¹ για αρουραίους και Ολόσωμο Μέσο SAR > 4 W.kg⁻¹ για πρωτεύοντα θηλαστικά πλην του ανθρώπου, εκθέσεις οι οποίες αντιστοιχούν σε αυξήσεις θερμοκρασιών εν τω βάθει οργάνων του σώματος περίπου 1°C.

Ωστόσο, δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτές οι μεταβολές οφείλονται σε μειωμένη γνωσιακή ικανότητα, και όχι στην φυσιολογική μείωση της όρεξης (πείνα), η οποία προκαλείται από την αύξηση της θερμοκρασίας. Τέτοιες μεταβολές κινήτρου θεωρούνται φυσιολογικές και αναστρέψιμες θερμορυθμιστικές αποκρίσεις και δεν συνιστούν από μόνες τους δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

Παρομοίως, αν και δεν θεωρείται δυσμενής επίδραση στην υγεία, συμπεριφορικές αλλαγές για να μειωθεί η θερμοκρασία του σώματος έχουν παρατηρηθεί σε πρωτεύοντα πλην του ανθρώπου, για Ολόσωμο Μέσο SAR 1 W.kg⁻¹, με τον ίδιο ουδό για οξείες, επαναλαμβανόμενες και μακροχρόνιες εκθέσεις.

Όσον αφορά στις υψηλότερες γνωσιακές λειτουργίες του εγκεφάλου, η επιδημιολογική έρευνα είναι περιορισμένη. Υπήρξαν αναφορές μικρών μεταβολών στις μετρήσεις απόδοσης έπειτα από Έκθεση σε RF-EMF, αλλά τα ευρήματα ήταν αντιφατικά, καθώς δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι οι αναφερόμενες μεταβολές σχετίζονται με την Έκθεση και είναι εύλογες άλλες εναλλακτικές εξηγήσεις, για τα παρατηρούμενα αποτελέσματα.

Συνοπτικά, δεν υπάρχουν τεκμηριωμένες πειραματικές ή επιδημιολογικές αποδείξεις ότι η Έκθεση σε RF-EMF επηρεάζει τις υψηλότερες γνωσιακές λειτουργίες τις σχετικές με την υγεία.

Συμπτώματα και Ευεξία

Έχουν διεξαχθεί έρευνες οι οποίες μελέτησαν τις πιθανές επιπτώσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να προκληθούν από την Έκθεση σε RF-EMF, στην διάθεση, στην ευεξία και στην γενικότερη συμπεριφορά.

Ένας αριθμός πειραματικών μελετών οι οποίες ελέγχουν τις οξείες αλλαγές στην ευεξία ή στην συμπεριφορά είναι διαθέσιμος. Ωστόσο αυτές δεν κατάφεραν να εντοπίσουν κάποια τεκμηριωμένη επίδραση της Έκθεσης.

Ένα μικρό μέρος του πληθυσμού αποδίδει μη-ειδικά συμπτώματα σε διάφορους τύπους Έκθεσης σε RF-EMF. Αυτό το φαινόμενο αναφέρεται ως “Ιδιοπαθής Περιβαλλοντική Δυσανεξία” αποδιδόμενη στις ραδιοσυχνότητες (Idiopathic Environmental Intolerance attributed to EMF (IEI-EMF)).

Διπλά τυφλές πειραματικές μελέτες απέτυχαν συστηματικά να εντοπίσουν την σχέση μεταξύ της Έκθεσης σε RF-EMF με τέτοιου είδους συμπτώματα στον πληθυσμό ο οποίος πάσχει από IEI-EMF, καθώς και σε δείγματα υγιών πληθυσμών. Αυτές οι πειραματικές μελέτες παρέχουν στοιχεία ότι η “πεποίθηση σχετικά με την Έκθεση” (π.χ., το λεγόμενο φαινόμενο “nocebo”) και όχι η ίδια η Έκθεση, είναι ο σχετικός καθοριστικός παράγοντας συμπτωμάτων (π.χ. Eltiti et al. 2018, Verrender et al. 2018).

Όσον αφορά στις επιδημιολογικές έρευνες, έχουν εξεταστεί πιθανές μακροπρόθεσμες επιπτώσεις, της Έκθεσης σε RF-EMF από πομπούς σταθερής θέσης και από συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούνται κοντά στο σώμα και οι οποίες σχετίζονται με την ευεξία και με συμπεριφορικά συμπτώματα. Με λίγες εξαιρέσεις αυτές οι μελέτες χαρακτηρίζονται ως μελέτες διατομής (cross-sectional studies) με αυτοαναφερόμενες πληροφορίες (self-reported information) σχετικά με τα συμπεριφορικά συμπτώματα και την Έκθεση.

Ερωτηματικά σε αυτές τις μελέτες προκύπτουν στα εξής θέματα:

- ✓ προκατάληψη επιλογής (selection bias),
- ✓ προκατάληψη αναφοράς (reporting bias),
- ✓ κακή αξιολόγηση της Έκθεσης και
- ✓ φαινόμενο “nocebo”.

Σε μελέτες για πομπούς εκπομπής, δεν παρατηρήθηκαν συσχετίσεις μεταξύ της Έκθεσης και των συμπεριφορικών συμπτωμάτων ή της ευεξίας, όταν πραγματοποιήθηκαν αντικειμενικές μετρήσεις Έκθεσης ή όταν συλλέχθηκαν προοπτικά πληροφορίες για την Έκθεση.

Σε μελέτες σχετικά με την χρήση κινητού τηλεφώνου, έχουν παρατηρηθεί συσχετίσεις με συμπτώματα και προβληματική συμπεριφορά. Ωστόσο, αυτές οι μελέτες γενικά δεν μπορούν να κάνουν διάκριση μεταξύ των πιθανών επιπτώσεων από την Έκθεση των RF-EMF και άλλων επιπτώσεων οι οποίες προκύπτουν από την χρήση κινητού τηλεφώνου, όπως η στέρηση ύπνου κατά την χρήση του κινητού τηλεφώνου την νύχτα. Συνολικά, η επιδημιολογική έρευνα δεν παρέχει στοιχεία για αιτιακή επίδραση της Έκθεσης των RF-EMF σε συμπεριφορικά συμπτώματα ή ευεξία.

Ωστόσο, υπάρχουν ενδείξεις ότι τα RF-EMF, σε αρκετά υψηλά επίπεδα, μπορούν να προκαλέσουν πόνο. Οι Walters et al. (2000) ανέφεραν ένα κατώφλι πόνου στα 12,5

$\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ σε συχνότητα 94 GHz, για χρονική διάρκεια Έκθεσης 3 sec στην περιοχή της πλάτης, η οποία αύξησε την θερμοκρασία της πλάτης από 34°C σε 43,9°C (με ρυθμό 3,3°C ανά sec). Αυτός το απόλυτο κατώφλι θερμοκρασίας είναι σύμφωνο με τους Torbjork et al. (1984), οι οποίοι παρατήρησαν έναν μέσο κατώφλι πόνου στους 43°C, ο οποίος ήταν σύμφωνος με τα μετρούμενα ταυτόχρονα κατώφλια απόκρισης των νευροϋποδοχέων (41°C και 43°C).

Μια άλλη περίπτωση πόνου επαγόμενη από RF-EMF, οφείλεται στην έμμεση (indirect) Έκθεση μέσω ρευμάτων επαφής, όπου τα RF-EMF του περιβάλλοντος ανακατευθύνονται, μέσω ενός αγωγίμου αντικειμένου σε ένα άτομο και η προκύπτουσα ροή ρεύματος, ανάλογα με την συχνότητα, είναι δυνατόν να διεγείρει τα νεύρα, να προκαλέσει πόνο, ή/και βλάβη στους ιστούς.

Τα κατώφλια τα οφειλόμενα στα επαγόμενα ηλεκτρικά ρεύματα, τα οποία προκύπτουν από ηλεκτρικά ρεύματα επαφής, είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστούν, με τις καλύτερες εκτιμήσεις των κατωφλίων για τις επιπτώσεις στην υγεία (εμφάνιση πόνου) να είναι περίπου 10 και 20 mA για παιδιά και ενήλικες, αντίστοιχα (παρέκταση από τους Chatterjee et al. 1986).

Συνοπτικά, δεν έχουν τεκμηριωθεί αναφορές για βλαπτικές ενέργειες των εκθέσεων των RF-EMF όσον αφορά στα συμπεριφορικά συμπτώματα και στην ευεξία, εκτός από τον πόνο, ο οποίος σχετίζεται με την αύξηση της θερμοκρασίας σε υψηλά επίπεδα Έκθεσης (τόσο από την άμεση όσο και από την έμμεση Έκθεση σε RF-EMF):

- Κατώφλια για άμεσες επιπτώσεις (πόνος) ευρίσκονται κοντά στα $12,5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ για συχνότητα 94 GHz Έκθεσης στην πλάτη, γεγονός το οποίο συνάδει με τις γνώσεις μας περί θερμικής φυσιολογίας.
- Κατώφλια για έμμεσες επιπτώσεις (ρεύματα επαφής) ευρίσκονται κοντά στα 10 και 20 mA, για εύρος συχνοτήτων RF-EMF από 100 kHz έως 110 MHz, για παιδιά και ενήλικες αντίστοιχα.

Άλλες Φυσιολογικές Λειτουργίες του Εγκεφάλου και Συναφείς Μηχανισμοί

Υπάρχει ένας αριθμός μελετών (χρησιμοποιώντας κυρίως *in vitro* τεχνικές), σχετικά με τις πιθανές δυσμενείς επιπτώσεις των RF-EMF σε φυσιολογικές λειτουργίες, οι οποίες θα μπορούσαν να επηρεάσουν αρνητικά την υγεία. Αυτές περιλαμβάνουν πολλαπλές κυτταρικές σειρές (multiple cell lines) και αξιολογούν λειτουργίες όπως:

- ✓ έξω- και ενδοκυτταρική σηματοδότηση (intra- and intercellular signaling),
- ✓ ρεύματα ιόντων διαύλου μεμβράνης (membrane ion channel currents) και αντίσταση εισόδου (input resistance),
- ✓ δυναμικό Ca^{2+} (Ca^{2+} dynamics),
- ✓ διαδρομές μεταγωγής σήματος (signal transduction pathways),
- ✓ έκφραση κυτοκίνης (cytokine expression),
- ✓ βιοδείκτες νευροεκφυλισμού (biomarkers of neurodegeneration),
- ✓ πρωτεΐνες θερμικού σοκ (heat shock proteins) και

- ✓ διαδικασίες όπου σχετίζονται με το οξειδωτικό στρες (oxidative stress-related processes).

Υπήρξαν κάποιες αναφορές σχετικά με μορφολογικές αλλαγές των κυττάρων, αλλά αυτές δεν έχουν επαληθευτεί και η σχετικότητά τους με την υγεία δεν έχει επίσης αποδειχθεί. Υπήρξαν επίσης αναφορές για RF-EMF τα οποία επάγουν διαρροή λευκωματίνης (leakage of albumin) δια μέσου του αιματο-εγκεφαλικού φραγμού σε αρουραίους (π.χ., Nittby et al., 2009), αλλά λόγω μεθοδολογικών περιορισμών των μελετών και αποτυχημένων προσπαθειών ανεξάρτητης επαλήθευσης των αποτελεσμάτων, δεν είναι δυνατόν να αποδειχθεί η συσχέτιση τους με τα RF-EMF. Ορισμένες μελέτες επίσης έλεγξαν τις επιδράσεις της ταυτόχρονης Έκθεσης RF-EMF και γνωστών τοξινών, αλλά προς το παρόν δεν υπάρχει απόδειξη ότι αυτό επηρεάζει τα ως άνω συμπεράσματα.

Ισχυρά παλμικά ηλεκτρικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων (με ραδιοκυματικές συνιστώσες) μπορούν να προκαλέσουν διαπέραση των κυτταρικών μεμβρανών, επιτρέποντας την ανταλλαγή ενδο- και εξωκυτταρικών στοιχείων (Joshi και Schoenbach 2010) φαινόμενο το οποίο αναφέρεται ως ηλεκτροδιάτρηση (electroporation).

Η Έκθεση σε μη-διαμορφωμένο πεδίο συχνότητας 18 GHz έχει επίσης αναφερθεί ότι προκαλεί παρόμοιο αποτέλεσμα (Nguyen et al. 2017). Και οι δύο εκθέσεις απαιτούν πολύ υψηλές Εντάσεις πεδίου [π.χ. $10 \text{ kV}\cdot\text{m}^{-1}$ (κορυφή) στους ιστούς στην περίπτωση ηλεκτρικών πεδίων χαμηλής συχνότητας και $5 \text{ kW}\cdot\text{kg}^{-1}$ στα 18 GHz].

Αυτά τα επίπεδα δεν έχουν αποδειχθεί ότι επηρεάζουν αρνητικά την υγεία σε ρεαλιστικά σενάρια Έκθεσης ανθρώπων και, δεδομένων των πολύ υψηλών ουδών τους, οι άνθρωποι προστατεύονται έναντι αυτών των σεναρίων από Περιορισμούς οι οποίοι βασίζονται σε επιπτώσεις οι οποίες έχουν χαμηλότερα κατώφλια. Κατά συνέπεια, η ηλεκτροδιάτρηση δεν συζητείται περαιτέρω.

Συνοπτικά, δεν υπάρχουν ενδείξεις επιδράσεων των RF-EMF στις φυσιολογικές διεργασίες τα οποία θα επηρέαζαν την ανθρώπινη υγεία.

ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ, ΑΙΘΟΥΣΑΙΑ ΚΑΙ ΟΦΘΑΛΜΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ

Ένας αριθμός μελετών σε πειραματόζωα και μερικές μελέτες σε ανθρώπους έχουν πραγματοποιηθεί με σκοπό την έρευνα των πιθανών επιπτώσεων των RF-EMF στην λειτουργία και στην παθολογία των ακουστικών, αιθουσαίων και οφθαλμικών συστημάτων.

Οι υποχιλιοστομετρικοί (sub-millisecond) παλμοί των RF-EMF, μπορούν να οδηγήσουν στην μετατροπή του προσπίπτοντος σήματος σε ακουστό ήχο.

Συγκεκριμένα, στην περιοχή συχνοτήτων 200 MHz – 3 GHz, η “ακουστότητα μικροκυμάτων” (microwave hearing) είναι δυνατόν να προκύψει από σύντομης χρονικής διάρκειας (περίπου 35 - 100 μs) ραδιοκυματικούς παλμούς στην κεφαλή, οι οποίοι προκαλούν **θερμοελαστική επέκταση (thermoelastic expansion)** η οποία ανιχνεύεται από αισθητήρια κύτταρα στον κοχλία του ωτός, μέσω των ίδιων διαδικασιών οι οποίες εμπλέκονται στην φυσιολογική ακουστότητα. Αυτό το

φαινόμενο γίνεται αντιληπτό ως σύντομος θόρυβος χαμηλού επιπέδου, ο οποίος συχνά περιγράφεται ως “κλικ (click)” ή “βουητό (buzzling)”.

Για παράδειγμα, ο Röschmann (1991) εφάρμοσε παλμούς 10 και 20 μs , στα 2,45 GHz, από τα οποία προέκυψε μια τιμή της Ειδικής Απορρόφησης Ενέργειας (SA) $4,5 \text{ mJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ανά παλμό, για την οποία εκτιμήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας $0,00001 \text{ }^\circ\text{C}$ περίπου ανά παλμό. Αυτοί οι παλμοί ήταν σχεδόν ακουστοί, υποδηλώνοντας ότι αυτό αντιστοιχούσε σε έναν ήχο στο κατώφλι της ακουστότητας.

Παρόλο που οι παλμοί SA υψηλότερης έντασης είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε περισσότερο έντονες επιπτώσεις, δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι η ακουστότητα μικροκυμάτων σε οποιοδήποτε ρεαλιστικό σενάριο Έκθεσης είναι δυνατόν να επηρεάσει την υγεία και, επομένως, οι παρούσες Κατευθυντήριες Οδηγίες της ICNIRP δεν προτείνουν Περιορισμό ο οποίος να λαμβάνει υπ’ όψιν το φαινόμενο αυτό.

Πραγματοποιήθηκαν επίσης πειραματικές μελέτες και μελέτες παρατήρησης (observational) για τον έλεγχο των δυσμενών επιπτώσεων οι οποίες μπορεί να προκληθούν από την Έκθεση σε RF-EMF από κινητά τηλέφωνα. Λίγες μελέτες έχουν ερευνήσει τις επιπτώσεις στην ακουστική λειτουργία και στην κυτταρική δομή σε πειραματόζωα. Ωστόσο, τα αποτελέσματα τους είναι αντιφατικά.

Πέραν των συμπεριφορικών και ηλεκτροφυσιολογικών δεικτών της αισθητηριακής επεξεργασίας όπως περιγράφονται ως άνω, ένας αριθμός μελετών έχει διερευνήσει τις οξείες επιπτώσεις της Έκθεσης σε RF-EMF της ακουστικής, αιθουσαίας και οφθαλμολογικής λειτουργίας των ανθρώπων. Αυτά διεξήχθησαν, χρησιμοποιώντας ευρέως σήματα παρόμοια με αυτά των κινητών τηλεφώνων, σε επίπεδα Έκθεσης κάτω από τα Βασικά Επίπεδα Περιορισμού της ICNIRP (1998).

Αν και υπάρχουν κάποιες αναφορές σχετικά με τα αποτελέσματα των μελετών, αυτά χαρακτηρίζονται ως ευρέως κυμαινόμενα, με αποτέλεσμα άλλες μελέτες μεγαλύτερες και περισσότερο μεθοδολογικά θεμελιωμένες να μην οδηγούνται στα ίδια συμπεράσματα και να μην τα επιβεβαιώνουν.

Υπάρχουν ελάχιστες επιδημιολογικές έρευνες σχετικές με τις αισθητηριακές επιδράσεις, οι οποίες προκαλούνται από συσκευές, οι οποίες εκπέμπουν RF-EMF. Η διαθέσιμη έρευνα επικεντρώθηκε στην χρήση κινητών τηλεφώνων και δεν παρέχει επαρκή στοιχεία όπου να αποδεικνύουν ότι αυτή σχετίζεται με αυξημένο κίνδυνο εμβοής (tinnitus), διαταραχή της ακοής, της αιθουσαίας ή οφθαλμολογικής λειτουργίας.

Μελέτες σε ζώα κατέληξαν επίσης ότι η θέρμανση η οποία προκύπτει από την Έκθεση σε RF-EMF είναι δυνατόν να οδηγήσει στον σχηματισμό καταρράκτη σε κουνέλια. Για να συμβεί αυτό, απαιτούνται πολύ υψηλά επίπεδα της Τοπικής SAR ($100 - 140 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$) σε χαμηλές συχνότητες ($< 6 \text{ GHz}$) και αύξηση της θερμοκρασίας σε αρκετούς $^\circ\text{C}$ για αρκετές ώρες.

Ωστόσο, το κουνέλι είναι περισσότερο ευαίσθητο στην πρόκληση καταρράκτη από ό,τι τα πρωτεύοντα (με πρωτεύοντα εκείνα τα οποία σχετίζονται περισσότερο με την ανθρώπινη υγεία) και καταρράκτης δεν έχει ανιχνευθεί σε πρωτεύοντα εκτιθέμενα σε ραδιοκυματικά πεδία.

Δεν έχουν ευρεθεί τεκμηριωμένες επιδράσεις των ραδιοσυχνοτήτων σε άλλες βαθύτερες δομές του οφθαλμού (π.χ. αμφιβληστροειδή ή ίριδα). Ωστόσο, τα κουνέλια μπορούν να αποτελέσουν ένα καλό μοντέλο για βλάβες σε επιφανειακές δομές του οφθαλμού (π.χ. στον κερατοειδή χιτώνα) για υψηλότερες συχνότητες (30 – 300 GHz).

Η βασική θερμοκρασία του κερατοειδούς είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με το οπίσθιο τμήμα του οφθαλμού και έτσι απαιτούνται πολύ υψηλά επίπεδα Έκθεσης για να προκληθεί επιφανειακή βλάβη.

Για παράδειγμα, οι Kojima et al. (2018) ανέφεραν ότι οι δυσμενείς επιπτώσεις στον κερατοειδή είναι δυνατόν να συμβούν για Προσπίπτουσα Πυκνότητα Ισχύος (S_{inc}) υψηλότερη των $1,4 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ για συχνότητες από 40 έως 95 GHz. Επίσης δεν ανιχνεύθηκαν βιολογικά συμβάντα για τιμές μικρότερες των $500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Οι συγγραφείς κατέληξαν ότι ο ρυθμός ανοιγοκλεισίματος των βλεφάρων (blink rates) στον άνθρωπο (κυμαίνονται από μία φορά κάθε 3 έως 10 sec, σε αντίθεση με μία φορά κάθε 5 έως 20 min σε κουνέλια) θα απέκλειαν τέτοιου είδους επιπτώσεις.

Συνοπτικά, δεν έχουν τεκμηριωθεί αναφερόμενες επιδράσεις στην ακουστική, αιθουσαία ή οφθαλμική λειτουργία ή παθολογία σχετική με την ανθρώπινη υγεία. Ορισμένες ενδείξεις επιφανειακής βλάβης στους οφθαλμούς έχουν ανιχνευθεί σε κουνέλια σε εκθέσεις τουλάχιστον $1,4 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$, αν και δεν έχει αποδειχθεί η σχετικότητα αυτής της επίπτωσης στον άνθρωπο.

ΝΕΥΡΟΕΝΔΟΚΡΙΝΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Ένας μικρός αριθμός ερευνών επί ανθρώπων έχει πραγματοποιηθεί, σχετικά με το κατά πόσον δείκτες λειτουργίας του ενδοκρινικού συστήματος έχουν επηρεαστεί λόγω Έκθεσης σε RF-EMF. Έχουν αξιολογηθεί αρκετές ορμόνες, όπως η μελατονίνη, η αυξητική ορμόνη, η ωχρινοτρόπος ορμόνη, η κορτιζόλη, η επινεφρίνη και η νορ-επινεφρίνη, αλλά δεν έχουν παρατηρηθεί σαφείς ενδείξεις επίδρασης της Έκθεσης σε αυτές.

Σε μελέτες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε ζώα, έχουν αναφερθεί τεκμηριωμένες μεταβολές προερχόμενες μόνο από οξείες εκθέσεις, στις οποίες παρατηρήθηκε η τιμή του ολόσωμου SAR να είναι της τάξης των $4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$, με αποτέλεσμα την αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος κατά 1°C ή και περισσότερο. Ωστόσο, δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτό το γεγονός έχει αντίκτυπο στην υγεία. Αν και υπήρξαν μερικές μελέτες όπου ανεφέρθησαν αλλαγές οι οποίες εξαρτώνται από το εύρος του πεδίου σε ορισμένες νευροενδοκρινικές μετρήσεις, αυτές δεν έχουν τεκμηριωθεί περαιτέρω.

Η βιβλιογραφία, στο σύνολό της, αναφέρει ότι επαναλαμβανόμενη, η καθημερινή έκθεση στην ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων δεν επιδρά στα επίπεδα του πλάσματος της μελατονίνης ή στον μεταβολισμό της μελατονίνης, στα οιστρογόνα ή στην τεστοστερόνη ή στην κορτικοστερόνη ή στην αδρενοκορτικοτροπίνη στα τρωκτικά κάτω από διάφορες πειραματικές συνθήκες.

Επιδημιολογικές μελέτες σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις της Έκθεσης σε RF-EMF στα επίπεδα μελατονίνης, ανέφεραν αντικρουόμενα αποτελέσματα και πάσχουν από

αρκετούς μεθοδολογικούς περιορισμούς. Για άλλους τελικούς στόχους (end point) σχετιζόμενους με τις ορμόνες, δεν έχουν εντοπιστεί επιδημιολογικές μελέτες επαρκούς επιστημονικής ποιότητας.

*Συνοπτικά, το χαμηλότερο επίπεδο στο οποίο παρατηρήθηκε μια επίδραση των RF-EMF στο νευροενδοκρινικό σύστημα είναι στα 4 W*kg^{-1} (σε τρωκτικά και πρωτεύοντα), αλλά δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι αυτό είναι δυνατόν να εντοπιστεί και στον άνθρωπο ή σχετίζεται με την ανθρώπινη υγεία. Δεν έχουν τεκμηριωθεί άλλες αναφερόμενες επιδράσεις.*

ΝΕΥΡΟΕΚΦΥΛΙΣΤΙΚΕΣ ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ

Δεν υπάρχουν πειραματικές μελέτες σε ανθρώπους, οι οποίες να έχουν αποδείξει την ύπαρξη ανεπιθύμητων παρενεργειών λόγω νευροεκφυλιστικών ασθενειών.

Αν και έχει αναφερθεί ότι η Έκθεση σε παλμικά RF-EMF αύξησε τον νευρωνικό θάνατο σε αρουραίους και θα μπορούσε ενδεχομένως να συμβάλει στην αύξηση κινδύνου εμφάνισης νευροεκφυλιστικής νόσου, άλλες μελέτες απέτυχαν να επιβεβαιώσουν αυτά τα αποτελέσματα.

Έχουν αναφερθεί ορισμένες άλλες επιδράσεις (π.χ. μεταβολές στην απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών στον φλοιό του εγκεφάλου, έκφραση πρωτεΐνης στον ιππόκαμπο και αυτοφαγία απουσία απόπτωσης στους νευρώνες), αλλά τέτοιου είδους μεταβολές δεν έχει αποδειχθεί ότι οδηγούν σε νευροεκφυλιστική ασθένεια. Άλλες έρευνες οι οποίες μελέτησαν την εμφάνιση νευροεκφυλιστικών ασθενειών, δεν ήταν κατατοπιστικές λόγω μεθοδολογικών ή άλλων προβλημάτων.

Μια επιδημιολογική μελέτη ("cohort study"), η οποία πραγματοποιήθηκε στην Δανία, διερεύνησε τις πιθανές επιπτώσεις της χρήσης κινητού τηλεφώνου σε νευροεκφυλιστικές διαταραχές και ανέφερε μειωμένες εκτιμήσεις κινδύνου για την νόσο Alzheimer, την αγγειακή νόσο, την άνοια και την νόσο του Parkinson (Schüz et al. 2009).

Αυτά τα ευρήματα είναι πιθανό να είναι το αποτέλεσμα αντίστροφης αιτίας (reverse causation), καθώς τα πρόδρομα συμπτώματα της νόσου μπορούν να εμποδίσουν τα άτομα με πρώιμα συμπτώματα νόσου να αρχίσουν να χρησιμοποιούν κινητό τηλέφωνο.

Τα αποτελέσματα από μελέτες για την πολλαπλή σκλήρυνση είναι αντιφατικά, χωρίς να παρατηρούνται επιπτώσεις στους άνδρες και ένας οριακός αυξημένος κίνδυνος στις γυναίκες, αλλά χωρίς σαφές μοτίβο ανταπόκρισης στην Έκθεση.

Συνοπτικά, δεν έχουν τεκμηριωθεί ανεπιθύμητες επιπτώσεις σχετικά με τις νευροεκφυλιστικές ασθένειες.

ΚΑΡΔΙΑΓΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ, ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΝΕΥΡΙΚΟ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΥΘΜΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Όπως περιγράφεται ως άνω, τα RF-EMF μπορούν να επάγουν αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος. Αν και οι άνθρωποι διαθέτουν ένα πολύ αποτελεσματικό θερμορυθμιστικό σύστημα, η υπερβολική αύξηση της

θερμοκρασίας θέτει το καρδιαγγειακό σύστημα υπό πίεση και είναι δυνατόν να οδηγήσει σε δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία.

Πολλές μελέτες επί ανθρώπων έχουν διερευνήσει δείκτες του καρδιαγγειακού και του αυτόνομου νευρικού συστήματος, καθώς και της θερμορυθμιστικής λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένων των μετρήσεων του καρδιακού ρυθμού και των μεταβολών του, της αρτηριακής πίεσης (blood pressure), της θερμοκρασίας του σώματος, του δέρματος και των δακτύλων και της αγωγιμότητας του δέρματος.

Οι περισσότερες μελέτες αποδεικνύουν ότι δεν υπάρχουν βιολογικές επιδράσεις σε τελικούς στόχους (end points) καθώς ρυθμίζονται από το αυτόνομο νευρικό σύστημα. Οι σχετικά λίγες αναφερόμενες επιδράσεις της Έκθεσης ήταν μη-σημαντικές και δεν είχαν κανένα αντίκτυπο στην υγεία. Οι αναφερόμενες μεταβολές ήταν επίσης ασαφείς και είναι δυνατόν να οφείλοντο σε μεθοδολογικούς περιορισμούς ή ήταν τυχαίες.

Με εκθέσεις υψηλότερων εντάσεων, για ολόσωμο SAR περίπου 1 W.kg^{-1} (Adair et al. 2001), έχουν αναφερθεί εφίδρωση και καρδιαγγειακές αποκρίσεις οι οποίες είναι παρόμοιες με αυτές οι οποίες παρατηρούνται υπό αυξημένο θερμικό φορτίο από άλλες πηγές. Η αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος ήταν γενικά μικρότερη από $0,2^\circ\text{C}$.

Η κατάσταση είναι διαφορετική για έρευνες επί πειραματόζωων, δεδομένου ότι έχουν χρησιμοποιηθεί πολύ υψηλότερα επίπεδα Έκθεσης, συχνά σε σημείο όπου η θερμορυθμιστική λειτουργία έχει κατασταλεί και η θερμοκρασία αυξάνεται σε βαθμό στον οποίο επέρχεται ο θάνατος.

Για παράδειγμα, οι Frei et al. (1995) εξέθεσαν αρουραίους σε πεδία 35 GHz και σε ολόσωμη Έκθεση 13 W.kg^{-1} , η οποία είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της κεντρικής θερμοκρασίας σώματος κατά 8°C (στους 45°C), με αποτέλεσμα τον θάνατο.

Ομοίως, οι Jauchem και Frei (1997) εξέθεσαν αρουραίους σε πεδία 350 MHz και σε ολόσωμη Έκθεση $13,2 \text{ W.kg}^{-1}$ και ανέφεραν ότι η θερμική κατάρρευση (δηλαδή όταν το θερμορυθμιστικό σύστημα δεν είναι δυνατόν πλέον να ανταπεξέλθει στην αυξημένη κεντρική θερμοκρασία του σώματος) σημειώθηκε στους 42°C περίπου.

Είναι δύσκολο να συσχετιστούν αυτά τα ευρήματα απευθείας με τον άνθρωπο, καθώς οι άνθρωποι διαθέτουν αποτελεσματικότερο ρυθμιστικό σύστημα σε σχέση με αυτό των τρωκτικών.

Οι Taberski et al. (2014) ανέφεραν ότι στα ινδικά χοιρίδια Djungarian δεν παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας των βαθύτερων οργάνων του σώματος μετά από ολόσωμη Έκθεση σε πεδία 900 MHz στα 4 kg^{-1} με το μόνο ανιχνεύσιμο αποτέλεσμα μια μείωση της πρόσληψης τροφής (η οποία συμβαδίζει με την μειωμένη επιθυμία κατανάλωσης τροφής από ανθρώπους όταν η θερμοκρασία του σώματος είναι αυξημένη).

Υπάρχουν λίγες επιδημιολογικές μελέτες για τις επιπτώσεις στο καρδιαγγειακό και το αυτόνομο νευρικό σύστημα ή για την θερμορυθμιστική λειτουργία του σώματος. Αυτές οι μελέτες δεν απέδειξαν συσχέτιση μεταξύ των RF-EMF και της καρδιαγγειακής λειτουργίας.

Συνοπτικά, καμμία επίδραση στο καρδιαγγειακό σύστημα, στο αυτόνομο νευρικό σύστημα ή στην θερμορυθμιστική λειτουργία η οποία θέτει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία δεν έχει τεκμηριωθεί για εκθέσεις με Ολόσωμο Μέσο SAR χαμηλότερο από $4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$. Πιθανές βλάβες εντοπίζονται μόνο σε πειραματόζωα τα οποία εκτίθενται σε Ολόσωμο Μέσο SAR σημαντικά υψηλότερο των $4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$.

ΑΝΟΣΟΠΟΙΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΑΙ ΑΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Υπήρξαν μεθοδολογικά αντιφατικές αναφορές παροδικών αλλαγών στην λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και στην αιμοδυναμική, μετά από Έκθεση σε RF-EMF. Οι αναφορές προήλθαν κυρίως από μελέτες *in vitro*, αν και έχουν διεξαχθεί επίσης ορισμένες μελέτες σε ζώα. Αυτές οι αναφορές δεν τεκμηριώθηκαν.

Οι ολιγάριθμες μελέτες σε ανθρώπους οι οποίες έχουν διεξαχθεί δεν παρέχουν καμμία ένδειξη ότι τα RF-EMF επιδρούν στους ανθρώπους μέσω του ανοσοποιητικού συστήματος ή της αιματικής κυκλοφορίας.

ΓΟΝΙΜΟΤΗΤΑ, ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΗΝ ΠΑΙΔΙΚΗ ΗΛΙΚΙΑ

Υπάρχει ελάχιστη πειραματική έρευνα σε ανθρώπους σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις της Έκθεσης των RF-EMF στην αναπαραγωγή και στην φυσιολογική ανάπτυξη των παιδιών.

Οι διαθέσιμες μελέτες έχουν επικεντρωθεί σε ορμόνες οι οποίες σχετίζονται με την αναπαραγωγή και την ανάπτυξη των παιδιών, και όπως περιγράφεται ανωτέρω στην ενότητα “Νευρο-Ενδοκρινικό Σύστημα”, δεν υπάρχουν ενδείξεις επίδρασης σε αυτές από την Έκθεση σε RF-EMF.

Άλλες έρευνες έχουν αντιμετωπίσει αυτό το ζήτημα εξετάζοντας διαφορετικά στάδια ανάπτυξης (τελικοί τεθέντες στόχοι όπως η γνωσιακή και η ηλεκτρική δραστηριότητα του εγκεφάλου), προκειμένου να προσδιοριστεί εάν μπορεί να υπάρχει μεγαλύτερη ευαισθησία έναντι των ραδιοκυματικών πεδίων ως συνάρτηση της ηλικίας. Προς το παρόν δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι η φάση ανάπτυξης σχετίζεται με αυτό το ζήτημα.

Πολλές μελέτες σε πειραματόζωα έχουν δείξει ότι η Έκθεση σε RF-EMF, συνοδευόμενη από σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας, είναι δυνατόν να έχει επιπτώσεις στην αναπαραγωγή και στην φυσιολογική ανάπτυξη των παιδιών. Σε αυτές τις μελέτες περιλαμβάνονται:

- ✓ η αυξημένη πιθανότητα απώλειας του εμβρύου (αποβολή),
- ✓ η αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης δυσπλασιών και ανωμαλιών του εμβρύου, και
- ✓ το μειωμένο βάρος του εμβρύου.

Τέτοιες εκθέσεις μπορούν επίσης να προκαλέσουν μείωση της γονιμότητας των ανδρών.

Ωστόσο, εκτεταμένες, καλά ολοκληρωμένες μελέτες δεν κατάφεραν να εντοπίσουν επιδράσεις στην ανάπτυξη για Ολόσωμο Μέσο SAR έως και $4 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$. Ιδιαίτερα, μια μεγάλη μελέτη τεσσάρων γενεών σε ποντίκια σχετικά με την γονιμότητα και την

ανάπτυξη τους, για ολόσωμα SAR έως $2,34 \text{ W.kg}^{-1}$, δεν ανίχνευσε καμμία ένδειξη βλαπτικών επιδράσεων (Sommer et al. 2009).

Ορισμένες μελέτες ανέφεραν επιδράσεις στην γονιμότητα των ανδρών σε επίπεδα Έκθεσης κάτω από αυτήν την τιμή, αλλά αυτές οι μελέτες είχαν μεθοδολογικούς περιορισμούς και οι αναφερόμενες επιδράσεις δεν τεκμηριώθηκαν.

Επιδημιολογικές μελέτες έχουν διερευνήσει διάφορες πτυχές στειρότητας ανδρών και γυναικών και την έκβαση της εγκυμοσύνης σε σχέση με την Έκθεση σε RF-EMF.

Ορισμένες επιδημιολογικές μελέτες ανέφεραν συσχετίσεις μεταξύ των RF-EMF και της ποιότητας του σπέρματος ή της ανδρικής στειρότητας, αλλά σε συνδυασμό, οι διαθέσιμες μελέτες δεν παρέχουν στοιχεία για συσχέτιση με την RF-EMF Έκθεση, καθώς όλες αντιμετώπιζαν περιορισμούς σχετικά με τον σχεδιασμό της μελέτης ή στην αξιολόγηση της Έκθεσης.

Λίγες επιδημιολογικές μελέτες είναι διαθέσιμες σχετικά με την χρήση του κινητού τηλεφώνου από την μητέρα κατά την διάρκεια της εγκυμοσύνης και πιθανές επιπτώσεις στην ανάπτυξη του νευρικού συστήματος των παιδιών. Δεν υπάρχουν τεκμηριωμένες ενδείξεις ότι η Έκθεση σε ραδιοσυχνότητες, μετά από χρήση κινητού τηλεφώνου από την μητέρα, επηρεάζει την γνωσιακή ή ψυχοκινητική ανάπτυξη του παιδιού ή προκαλεί καθυστερήσεις της ανάπτυξης.

Συνοπτικά, δεν έχουν τεκμηριωθεί ανεπιθύμητες επιπτώσεις της Έκθεσης των RF-EMF στην γονιμότητα, στην αναπαραγωγή ή στην ανάπτυξη, σχετικά με την ανθρώπινη υγεία.

ΚΑΡΚΙΝΟΣ

Υπάρχει πλούσια βιβλιογραφία σχετικά με τις κυτταρικές και μοριακές διεργασίες με ιδιαίτερη σημασία για τον καρκίνο. Αυτή περιλαμβάνει μελέτες σχετικά με (Vijayalaxmi and Prihoda 2019):

- τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων,
- την διαφοροποίηση και τις διαδικασίες οι οποίες σχετίζονται με την απόπτωση,
- την έκφραση του πρωτο-ογκογονιδίου,
- την γονοτοξικότητα,
- το αυξημένο οξειδωτικό στρες και
- τις διασπάσεις των αλύσων του DNA.

Παρόλο που υπάρχουν αναφορές σχετικά με τις επιπτώσεις των RF-EMF σε ορισμένους από τους επιδιωκόμενους τελικούς στόχους, δεν υπάρχουν τεκμηριωμένες αποδείξεις επίδρασης στην υγεία (Vijayalaxmi και Prihoda 2019).

Λίγες μελέτες επί πειραματόζων (σχετικά με την επίδραση της Έκθεσης των RF-EMF στην καρκινογένεση) έχουν αναφέρει θετικά αποτελέσματα, αλλά, γενικά, αυτές οι μελέτες έχουν είτε ελλείψεις στην μεθοδολογία, είτε στην δοσिमетρία, ή τα αποτελέσματα δεν έχουν επαληθευτεί από ανεξάρτητες μελέτες. Πράγματι, η μεγάλη

πλειονότητα των μελετών ανέφερε έλλειψη καρκινογόνων επιπτώσεων σε μια σειρά διαφόρων πειραματόζωων.

Η επανάληψη μιας μελέτης στην οποία η Έκθεση σε RF-EMF αύξησε την συχνότητα εμφάνισης όγκων του ήπατος και του πνεύμονα σε ένα ζωικό μοντέλο με προγεννητική Έκθεση στο ισχυρό μεταλλαξιογόνο ENU (ethyl-nitro-sourea) υποδεικνύει πιθανή προαγωγική επίδραση (Lerchl et al. 2015; Tillmann et al. 2010).

Η απουσία σχέσης δόσης-απόκρισης, καθώς και η χρήση ενός μη δοκιμασμένου πειραματόζωου ποντικού για όγκους του ήπατος και των πνευμόνων, των οποίων η σχέση με τον άνθρωπο είναι αβέβαιη (Nesslany et al. 2015), καθιστά δύσκολη την ερμηνεία αυτών των αποτελεσμάτων και της εφαρμογής τους στην ανθρώπινη υγεία και επομένως υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω έρευνα για την πληρέστερη κατανόηση αυτών των αποτελεσμάτων.

Έχουν κυκλοφορήσει επίσης δύο πρόσφατες μελέτες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε πειραματόζωα οι οποίες διερευνούν την καρκινογενετική δυναμική της μακροχρόνιας Έκθεσης σε RF-EMF, σε σχέση με τα κινητά τηλέφωνα και τους σταθμούς βάσεις αυτών: μία από το Εθνικό Πρόγραμμα Τοξικολογίας των ΗΠΑ (NTP 2018a και b) και η άλλη από το Ινστιτούτο Ramazzini (Falcioni et al. 2018).

Παρόλο που και οι δύο μελέτες χρησιμοποίησαν μεγάλο αριθμό πειραματόζωων, βέλτιστες εργαστηριακές πρακτικές και εκτιθέμενα πειραματόζωα για όλη του την ζωή, αντιμετώπισαν αντιφάσεις και σημαντικούς περιορισμούς, τα οποία επηρέασαν την χρησιμότητα των αποτελεσμάτων τους για τον καθορισμό Κατευθυντηρίων Οδηγιών συμμόρφωσης σε αυτές τις εκθέσεις.

Ιδιαίτερης σημασίας είναι ότι οι χρησιμοποιούμενες στατιστικές μέθοδοι δεν επαρκούσαν για την διασαφήνιση των διαφορών των πειραματικών συνθηκών, εάν οφείλοντο στις ραδιοσυχνότητες ή σε τυχαία γεγονότα. Η ερμηνεία των δεδομένων είναι δύσκολη λόγω των υψηλών μεταβολών θερμοκρασίας των εν τω βάθει οργάνων του σώματος, οι οποίες προέκυψαν από τα πολύ υψηλά εφαρμοζόμενα επίπεδα Έκθεσης. Επίσης δεν διαπιστώθηκε μεθοδολογική συνέπεια σε αυτές τις δύο μελέτες.

Συνεπώς, όταν εξετάζονται τα ευρήματά τους, είτε μεμονωμένα (π.χ. ICNIRP 2019) είτε στο πλαίσιο άλλων ερευνών καρκινογένεσης σε πειραματόζωα και ανθρώπους (HCN 2014, 2016), δεν παρέχουν ενδείξεις ότι τα RF-EMF είναι καρκινογόνα.

Πραγματοποιήθηκε επίσης ένας μεγάλος αριθμός επιδημιολογικών μελετών σχετικά με την χρήση κινητού τηλεφώνου και την πιθανότητα εμφάνισης καρκίνου. Οι περισσότερες από αυτές τις μελέτες είχαν επικεντρωθεί σε όγκους εγκεφάλου, ακουστικό νευρίνωμα και όγκους παρωτιδικών αδένων, καθώς αυτοί εμφανίζονται πολύ κοντά στην τυπική πηγή Έκθεσης από το κινητό τηλέφωνο (Röösli et al. 2019).

Ωστόσο, ορισμένες μελέτες έχουν επίσης διεξαχθεί για άλλους τύπους όγκων, όπως η λευχαιμία, το λέμφωμα, το μελάνωμα ραγοειδούς χιτώνος οφθαλμού, οι όγκοι της υπόφυσης, ο καρκίνος των όρχεων και το κακοήθες μελάνωμα.

Με μερικές εξαιρέσεις, οι μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει ένα “σχεδιασμό πασχόντων – μαρτύρων (case-control design)” και βασίστηκαν σε αναδρομικά συλλεγόμενες αυτοαναφερόμενες πληροφορίες σχετικά με το ιστορικό χρήσης του κινητού τηλεφώνου.

Μόνο δύο μελέτες κούρτης με προοπτικές πληροφορίες Έκθεσης είναι διαθέσιμες. Αρκετές μελέτες είχαν μετέπειτα παρακολούθηση (follow-up), η οποία ήταν πολύ σύντομη για να επιτρέψει την αξιολόγηση μιας πιθανής επίδρασης της μακροχρόνιας Έκθεσης και τα αποτελέσματα από “μελέτες πασχόντων - μαρτύρων (case-control studies)” με μεγαλύτερη χρονικά παρακολούθηση, παρουσιάζουν ασάφειες.

Η μεγάλη μελέτη “Interphone Study” η οποία συντονίστηκε από την Διεθνή Ένωση για την Έρευνα για τον Καρκίνο (International Association for Research on Cancer – IARC), δεν παρείχε στοιχεία για αυξημένο κίνδυνο για εμφάνιση όγκων του εγκεφάλου, ακουστικού νευρινώματος ή όγκων των παρωτίδων στους συνήθεις χρήστες κινητών τηλεφώνων και οι εκτιμήσεις κινδύνου δεν ήταν υψηλότερες με αύξηση του χρονικού διαστήματος από την πρώτη χρήση του κινητού τηλεφώνου (Interphone 2010, 2011).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρ’ όλο που παρατηρήθηκαν κάπως αυξημένοι “λόγοι απόδοσης (odds ratio)” στο υψηλότερο επίπεδο αθροιστικού χρόνου χρήσης για ακουστικό νευρίνωμα και γλοιώμα, δεν παρατηρήθηκαν τάσεις για καμμία από τις υπόλοιπες ομάδες μικρότερου αθροιστικού χρόνου κλήσης, με τις χαμηλότερες εκτιμήσεις κινδύνου για την προτελευταία κατηγορία Έκθεσης. Αυτό, σε συνδυασμό με το “εγγενές σφάλμα ανάκλησης (inherent recall bias)” τέτοιων μελετών, δεν παρέχει στοιχεία αυξημένου κινδύνου.

Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν σε μια σουηδική “μελέτη πασχόντων – μαρτύρων (case-control study)” για ακουστικά νευρινώματα (Pettersson et al. 2014). Αντίθετα με τα ως άνω, ένα σύνολο “μελετών πασχόντων – μαρτύρων (case-control studies)” από την ομάδα Hardell στην Σουηδία αναφέρει σημαντικά αυξημένους κινδύνους τόσο του ακουστικού νευρινώματος όσο και των κακοήθων όγκων του εγκεφάλου, ήδη μετά από λιγότερο από πέντε χρόνια από την έναρξη της χρήσης κινητού τηλεφώνου και σε αρκετά χαμηλά επίπεδα αθροιστικού χρόνου κλήσης. Ωστόσο, τα αποτελέσματα αυτά δεν είναι συμβατά με τις τάσεις στα ποσοστά εμφάνισης καρκίνου του εγκεφάλου σε μεγάλο αριθμό χωρών ή περιοχών, οι οποίες δεν έχουν ανιχνεύσει οποιαδήποτε αύξηση της συχνότητας από την χρονολογία εισαγωγής των κινητών τηλεφώνων στην καθημερινή ζωή.

Επιπλέον, καμμία μελέτη κούρτης (οι οποίες σε αντίθεση με τις “μελέτες πασχόντων – μαρτύρων (case control studies)” δεν επηρεάζονται από την ανάκληση ή την προκατάληψη επιλογής - recall or selection bias) δεν αναφέρει υψηλότερο κίνδυνο γλοιώματος, μηνιγγιώματος ή ακουστικού νευρινώματος μεταξύ των συνδρομητών κινητών τηλεφώνων ή κατά την εκτίμηση της χρήσης κινητού τηλεφώνου μέσω ερωτηματολογίων που συλλέχθηκαν προοπτικά.

Μελέτες άλλων τύπων νεοπλασιών, επίσης δεν έχουν δείξει αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης όγκου λόγω χρήσης κινητού τηλεφώνου. Μόνο μία μελέτη είναι διαθέσιμη για χρήση κινητού τηλεφώνου σε παιδιά και κίνδυνο ανάπτυξης όγκου εγκεφάλου (Aydin et al. 2011). Δεν παρατηρήθηκε αυξημένος κίνδυνος όγκων του εγκεφάλου.

Μελέτες Έκθεσης σε περιβαλλοντικά RF-EMF, για παράδειγμα από ραδιοφωνικούς και τηλεοπτικούς πομπούς, δεν παρείχαν αποδείξεις για αυξημένο κίνδυνο καρκίνου είτε σε παιδιά είτε σε ενήλικες. Μελέτες καρκινογένεσης σε σχέση με επαγγελματική Έκθεση σε RF-EMF δεικνύουν σημαντικούς μεθοδολογικούς περιορισμούς και δεν

παρέχουν επαρκείς πληροφορίες για την αξιολόγηση της καρκινογένεσης των RF-EMF.

Συνολικά, οι επιδημιολογικές μελέτες δεν παρέχουν στοιχεία για καρκινογόνο επίδραση της Έκθεσης σε RF-EMF σε επίπεδα τα οποία απαντώνται στον γενικό πληθυσμό.

Συνοπτικά, δεν έχει τεκμηριωθεί καμμία επίδραση των RF-EMF στην επαγωγή ή την ανάπτυξη καρκίνου.

ΣΥΝΟΨΗ

Οι μόνες τεκμηριωμένες δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία οι οποίες προκαλούνται από την Έκθεση σε RF-EMF είναι:

- ✓ η διέγερση των νεύρων,
- ✓ οι αλλαγές στην διαπερατότητα των κυτταρικών μεμβρανών και
- ✓ οι επιπτώσεις λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας.

Δεν υπάρχουν ενδείξεις για δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία σε επίπεδα Έκθεσης χαμηλότερα από τα Επίπεδα Περιορισμού στις Κατευθυντήριες Οδηγίες ICNIRP (1998) και δεν υπάρχουν στοιχεία για έναν μηχανισμό αλληλεπίδρασης ο οποίος να προβλέπει ότι θα μπορούσαν να προκύψουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία λόγω Έκθεσης σε RF-EMF κάτω από αυτά τα Επίπεδα Περιορισμού.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Adair ER, Mylacraine KS, Cobb BL. Human exposure to 2450MHz CW energy at levels outside the IEEE C95.1 standard does not increase core temperature. *Bioelectromagnetics* 22:429-439; 2001.

Aydin D, Feychting M, Schüz J, Tynes T, Andersen TV, Schmidt LS, Poulsen AH, Johansen C, Prochazka M, Lannering B, Klæboe L, Eggen T, Jenni D, Grotzer M, Von der Weid N, Kuehni CE,

Rööslı M. Mobile phone use and brain tumors in children and adolescents: a multicenter case-control study. *J National Cancer Inst* 103:1264-1276; 2011.

Chatterjee I, Wu D, Gandhi OP. Human body impedance and threshold currents for perception and pain for contact hazard analysis in the VLF-MF band. *IEEE Trans Biomed Engineer* 33:486-494; 1986.

Eltiti S, Wallace D, Russo R, Fox E. Symptom presentation in idiopathic environmental intolerance with attribution to electromagnetic fields: evidence for a nocebo effect based on data re-analyzed from two previous provocation studies. *Frontiers Psychol* 9:1563; 2018.

Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, Mandrioli D, Manservigi M, Manservigi F, Manzoli I, Menghetti I, Montella R, Panzacchi S, Sgargi D, Strollo V, Vornoli A, Belpoggi F. Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone

radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. *Environment Res* 165:496-503; 2018.

Frei MR, Ryan KL, Berger RE, Jauchem JR. Sustained 35-GHz radiofrequency irradiation induces circulatory failure. *Shock* 4:289-293; 1995.

Health Council of the Netherlands. Mobile phones and cancer: part 2. Animal studies on carcinogenesis. The Hague: Health Council of the Netherlands; Publication 22; 2014.

Health Council of the Netherlands. Mobile phones and cancer: part 3. Update and overall conclusions from epidemiological and animal studies. The Hague: Health Council of the Netherlands; Publication 06; 2016.

ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Phys* 74:494-522;1998.

ICNIRP. ICNIRP note: critical evaluation of two radiofrequency electromagnetic field animal carcinogenicity studies published in 2018. *Health Phys* 118(5):XXX-XXX; 2020. DOI 10.1097/HP.0000000000001137.

Interphone Study Group. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *International J Epidemiol* 39:675-694; 2010.

Interphone Study Group. Acoustic neuroma risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study. *Cancer Epidemiol* 35:453-464; 2011.

Jauchem JR, Frei MR. Body heating induced by sub-resonant (350 MHz) microwave irradiation: cardiovascular and respiratory responses in anesthetized rats. *Bioelectromagnetics* 18:335-338; 1997.

Joshi RP, Schoenbach KH. Bioelectric effects of intense ultrashort pulses. *Critical Rev Biomed Engineer* 38:255-304; 2010.

Kojima M, Susuki Y, Sasaki K, Taki M, Wake K, Watanabe S, Mizuno M, Tasaki T, Sasaki H. Ocular effects of exposure to 40, 75 and 95 GHz Millimeter Waves. *J Infrared, Millimeter and Terahertz Waves*. 39(9):912-925; 2018.

Lerchl A, Klose M, Grote K, Wilhelm AF, Spathmann O, Fiedler T, Streckert J, Hansen V, Clemens M. Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans. *Biochem Biophys Res Comm* 459:585-590; 2015.

Loughran SP, McKenzie RJ, Jackson ML, Howard ME, Croft RJ. Individual differences in the effects of mobile phone exposure on human sleep: rethinking the problem. *Bioelectromagnetics* 33:86-93; 2012.

Nagaoka T, Watanabe S. Development of voxel models adjusted to ICRP reference children and their whole-body SARs for whole-body exposure to electromagnetic fields from 10 MHz to 6 GHz. *IEEE Access* 7:135909-135916; 2019.

Nesslany F, Aurengo A, Bonnet-Belfais M, Lambrozo J. Comment on Lerchl study: "Tumor promotion in mice by exposure to radiofrequency electromagnetic fields still waiting evidence." *Biochem Biophys Res Comm* 467:101-102; 2015.

Nguyen THP, Pham VTH, Baulin V, Croft RJ, Crawford RJ, Ivanova EP. The effect of a high frequency electromagnetic field in the microwave range on red blood cells. *Sci Rep* 7:1-10; 2017.

Nittby H, Brun A, Eberhardt J, Malmgren L, Persson BR, Salford LG. Increased blood-brain barrier permeability in mammalian brain 7 days after exposure to the radiation from a GSM-900 mobile phone. *Pathophysiol* 6:103-112; 2009.

NTP. Technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in Hsd:Sprague Dawley SD rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. National Toxicology Program. Research Triangle Park, NC: NTP TR 595; 2018a.

NTP. Technical report on the toxicology and carcinogenesis studies in B6C3F1/N mice exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (1900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. National Toxicology Program; NTP TR 596; 2018b.

Pettersson D, Mathiesen T, Prochazka M, Bergenheim T, Florentzson R, Harder H, Feychting M. Long-term mobile phone use and acoustic neuroma risk. *Epidemiol* 25:233-241; 2014.

Röösli M, Lagorio S, Schoemaker MJ, Schüz J, Feychting M. Brain and salivary gland tumors and mobile phone use: evaluating the evidence from various epidemiological study designs. *Annual Rev Public Health* 40:221-238; 2019.

Röschmann P. Human auditory system response to pulsed radiofrequency energy in RF coils for magnetic resonance at 2.4 to 170 MHz. *Magnetic Resonance Med* 21:197-215; 1991.

SCENIHR. Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF). Luxembourg: Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks; 2015.

Schüz J, Waldemar G, Olsen JH, Johansen C. Risks for central nervous system diseases among mobile phone subscribers: a Danish retrospective cohort study. *PLoS One* 4:e4389; 2009. DOI 10.1371/journal.pone.0004389.

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* 171:89-95; 2009.

SSM. SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Recent research on EMF and health risk—tenth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Luxembourg: Publication 19; 2015.

SSM. SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Recent research on EMF and health risk—eleventh report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Stockholm: SSM; Publication 15; 2016.

SSM. SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Recent Research on EMF and health risk—twelfth report from SSM's Scientific Council on Electromagnetic Fields. Publication 09; 2018.

Taberski K, Klose M, Grote K, El Ouardi A, Streckert J, Hansen VW, Lerchl A. Noninvasive assessment of metabolic effects of exposure to 900 MHz electromagnetic fields on Djungarian Hamsters (*Phodopus sungorus*). *Radiat Res* 181:617-622; 2014.

Tillmann T, Ernst H, Streckert J, Zhou Y, Taugner F, Hansen V, Dasenbrock C. Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model. *International J Radiat Biol* 86:529-41; 2010.

Torebjork HE, LaMotte RH, Robinson CJ. Peripheral neural correlates of magnitude of cutaneous pain and hyperalgesia: simultaneous recordings in humans of sensory judgments of pain and evoked responses in nociceptors with C-fibers. *J Neurophysiol* 51:325-339; 1984.

Verrender A, Loughran SP, Dalecki A, Freudenstien F, Croft RJ. Can explicit suggestions about the harmfulness of EMF exposure exacerbate a nocebo response in healthy controls? *Environ Res* 166:409-417; 2018.

Vijayalaxmi, Prihoda TJ. Comprehensive review of quality of publications and meta-analysis of genetic damage in mammalian cells exposed to non-ionising radiofrequency fields. *Radiat Res* 191:20-30; 2019.

Walters TJ, Blick DW, Johnson LR, Adair ER, Foster KR. Heating and pain sensation produced in human skin by millimetre waves: comparison to a simple thermal model. *Health Phys* 78:259-267; 2000.

World Health Organization. Radiofrequency fields; Public Consultation Document, released October 2014. Geneva: WHO; 2014.

ISBN

978-960-9439-86-2



Τα Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία Ραδιοσυχνότητων (RF-EMF) χρησιμοποιούνται για να ενεργοποιούν έναν αριθμό σύγχρονων συσκευών, συμπεριλαμβανομένων των υποδομών και των συσκευών των κινητών τηλεπικοινωνιών, Wi-Fi και Bluetooth.

Καθώς τα RF-EMF σε επαρκώς υψηλά επίπεδα ισχύος, μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την υγεία, η ICNIRP δημοσίευσε Κατευθυντήριες Οδηγίες το 1998 για την ανθρώπινη έκθεση σε χρονικά μεταβαλλόμενα RF-EMF.

Μετά την χρονολογία αυτή (1998), παρατηρήθηκε μία σημαντική παραγωγή επιστημονικής γνώσης αφορούσα στην σχέση μεταξύ RF-EMF και αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία, όπως επίσης και αξιοσημείωτες εξελίξεις, της σχετικής με τα RF-EMF, τεχνολογίας.

Σε συμφωνία με τα ανωτέρω, η ICNIRP επικαιροποίησε την ενότητα RF-EMF των Κατευθυντηρίων Οδηγιών του 1998.

Το παρόν κείμενο παρουσιάζει αυτές τις επικαιροποιημένες Κατευθυντήριες Οδηγίες, οι οποίες παρέχουν προστασία στον πληθυσμό από την έκθεση σε RF-EMF, στην φασματική περιοχή 100 kHz έως 300 GHz.