

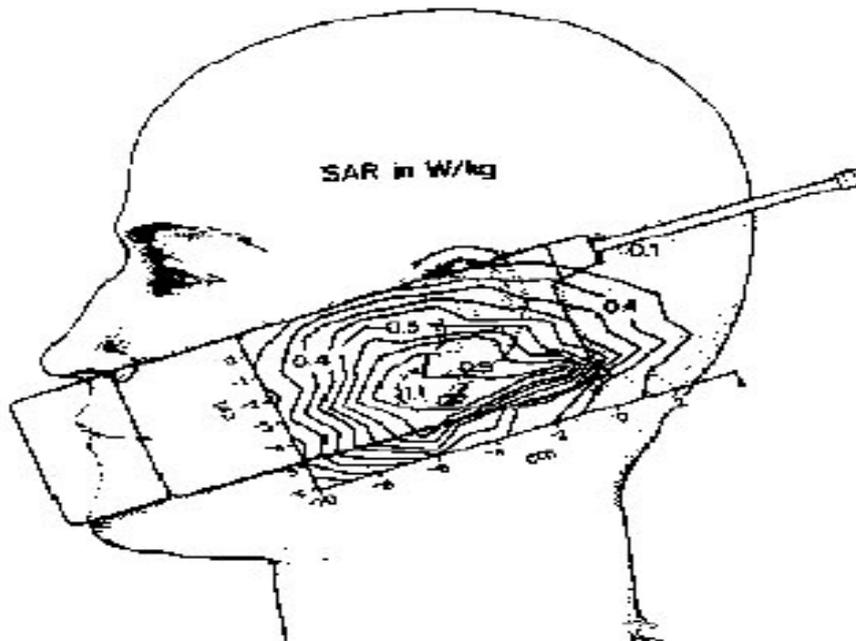
**ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ**  
**ΤΜΗΜΑ ΤΗΛΕΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**

**ΝΤΟΥΣΚΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΤΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΚΙΝΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΑ-ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ**  
**ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ EMC ASPECTS**

**ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2004**

# ΚΙΝΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΑ-ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ ΚΑΙ EMC ASPECTS



ΝΤΟΥΣΚΑ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ ΤΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ : 01/09/2004

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:** Μέρος των απαιτήσεων του τμήματος  
Τηλεπληροφορικής και Διοίκησης

# ΘΕΜΑΤΑ

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Τεχνολογία κα εφαρμογές των κινητών τηλεφώνων και υπολογισμός SNR**

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται λόγος για τα κινητά τηλέφωνα και την εξέλιξη τους ανάλογα με τις ανάγκες της εποχής. Επίσης υπολογισμός δύναμης που απορροφάται καθώς και του SNR σε κάθε συχνότητα για το εύρος σφυγμού διέγερσης.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Κινητά τηλέφωνα και ανθρώπινη έκθεση**

Εδώ αναφερόμαστε στις επιδράσεις που έχει η χρήση των κινητών τηλεφώνων στον εγκέφαλο και στα μάτια. Υπολογίζεται το SAR ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης και αναφερόμαστε επίσης σε διάφορες μελέτες.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Βιολογικά αποτελέσματα**

Εδώ γίνεται λόγος για τις βιολογικές επιδράσεις που έχει η χρήση των κινητών τηλεφώνων στα μάτια, στον εγκέφαλο, στα κύτταρα και στους ιστούς. Και γίνεται επίσης αναφορά στο τι υποστηρίζουν οι διάφορες έρευνες σχετικά με τις βιολογικές επιδράσεις.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Τα πρότυπα για την ασφάλεια της ακτινοβολίας και οι Επιτροπές ασφαλείας**

Εδώ αναφερόμαστε στις διεθνείς ενώσεις για την προστασία από την ραδιενέργεια καθώς και στα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να παρθούν για την σωστή χρήση των κινητών τηλεφώνων.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>Κεφάλαιο 1 :</b> Τεχνολογία και εφαρμογές των κινητών τηλεφώνων και υπολογισμός SNR	σελ 1-12
1.1 Τα κινητά τηλεφωνικά δίκτυα	σελ 1-2
1.2 Σχέδια κα τύποι των κινητών τηλεφώνων	σελ 3-5
1.3 Αναλογία σήματος προς θόρυβο και απορροφημένης δύναμης ως λειτουργίες από την κύρια ισχύ των μαγνητικών πεδίων	σελ 5-6
1.4 Η μέθοδος FDTD	σελ 6
1.5 Επικεφαλές πρότυπο	σελ 6-7
1.6 Λύσεις προτύπων και τομείς σπειρών	σελ 7-8
1.7 Υπολογισμός SNR	σελ 8
1.8 Αποτελέσματα και συζήτηση	σελ 9-11
1.9 Περιορισμοί των μεθόδων	σελ 11-12
1.10 Συμπεράσματα	σελ 12
<b>Κεφάλαιο 2 :</b> Κινητά τηλέφωνα και ανθρώπινη έκθεση	σελ 13-24
2.1 Λειτουργία των κινητών τηλεφώνων	σελ 13
2.2 Αντήχηση, ηλεκτρομαγνητικά πεδία ακτινοβολία	σελ 13-16
2.3 Απορρόφηση της ακτινοβολίας στο κεφάλι	σελ 16
2.3.1 Ειδικός ρυθμός απορρόφησης SAR από την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια	σελ 16-17
2.3.2 Καθοριστικό SAR	σελ 17-19
2.3.3 Αποτελέσματα των δοσομετρικών μελετών	σελ 19-24
<b>Κεφάλαιο 3 :</b> Βιολογικά αποτελέσματα	σελ 25-51
3.1 Βιολογικές επιδράσεις	σελ 25-26
3.2 Η αύξηση της θερμοκρασίας και τα φυσιολογικά αποτελέσματα της	σελ 26-28
3.3 Τι λένε οι κατασκευαστές	σελ 28
3.4 Τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να βλάψουν μέσω της επιτάχυνσης του εγκεφάλου	σελ 28-29
3.5 Τα αποτελέσματα στο μάτι	σελ 29-31
3.5.1 Καταρράκτης	σελ 31-32
3.5.2 Θερμική αλλαγή στον κερατοειδή χιτώνα	σελ 32
3.5.3 Αμφιβληστροειδής αύξηση της θερμοκρασίας	σελ 32-33
3.6 Βιολογική επίδραση των ηλεκτρομαγνητικών τομέων ραδιοσυχνότητας	σελ 33
3.6.1 Τα αποτελέσματα του κεντρικού συστήματος in vivo	σελ 33-35
3.6.1.α Δοκιμές που πραγματοποιούνται στα ζώα στην επαγωγή μελέτης από τον καρκίνο in vivo	σελ 36-38
3.6.2 Τα in vitro αποτελέσματα της ακτινοβολίας μικροκυμάτων στη φυσιολογία της μεμβράνης των κυττάρων	σελ 38-39

<b>3.6.2.α</b> Τα αποτελέσματα στον πολλαπλασιασμό κυττάρων και την προώθηση όγκων in vitro	σελ 39-40
<b>3.7</b> Αλλαγές στη μορφολογία του κυττάρου	σελ 40-41
<b>3.8</b> Αλληλοσυγκρουόμενες μελέτες για την θέρμανση των ιστών λόγω ακτινοβολίας	σελ 41-43
<b>3.9</b> Ο πιθανός ρόλος της ακτινοβολίας μικροκυμάτων στην καρκινογέννηση	σελ 44-46
<b>3.10</b> Διάφορες επιδημιολογικές μελέτες	σελ 47
<b>3.11</b> Επαγωγή και προώθηση καρκίνου	σελ 47-50
<b>Κεφάλαιο 4 :</b> Τα πρότυπα για την ασφάλεια της ακτινοβολίας και οι επιτροπές ασφάλειας	σελ 51-57
<b>4.1</b> Εισαγωγή	σελ 51
<b>4.2</b> Όρια έκθεσης	σελ 51-52
<b>4.3</b> Επιτροπές για την ασφάλεια της ακτινοβολίας	σελ 52
<b>4.3.1</b> IRPA και ICNIRP	σελ 52-53
<b>4.3.2</b> CENELEC	σελ 53
<b>4.3.3</b> FCC	σελ 54
<b>4.4</b> Η ασφάλεια για την ακτινοβολία των σταθμών βάσεων	σελ 54
<b>4.4.1</b> Τοποθέτηση των σταθμών βάσεων	σελ 54-55
<b>4.4.2</b> Αποστάσεις ασφάλειας	σελ 55-57
<b>4.5</b> Συστάσεις για μια ακίνδυνη ακτινοβολία	σελ 57

## 1.1 ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Το πρώτο κινητό τηλεφωνικό δίκτυο το οποίο καταστάθηκε λειτουργικό το 1972 στη Φινλανδία ήταν το Auto Radio Puhelin (ARP) και ήταν χειροκίνητο. Ο αριθμός των συνδρομητών αυξήθηκε αστραπιαία από 10.000 το 1976, σε 20.000 συνδρομητές το 1980 και σε 30.000 το 1982. Σήμερα, το δίκτυο αυτό ονομάζεται Mobinet και καλύπτει ολόκληρη τη Φινλανδία με 322 σταθμούς βάσεις και 800 ράδιο-κανάλια. Ο αριθμός των συνδρομητών ήταν ο μεγαλύτερός (36.000) το 1986. Αργότερα ο αριθμός αυτός μειώθηκε επειδή οι συνδρομητές άρχισαν να χρησιμοποιούν περισσότερο προηγμένα συστήματα.

Το σκανδιναβικό σύστημα κινητών τηλεφώνων (NMT) άρχισε τη λειτουργία του στη συχνότητα των 450MHz το 1982. Η ικανότητα NMT450 (180 κανάλια) έγινε ανεπαρκής στις αστικές περιοχές μέσα σε μερικά έτη. Ο αριθμός των συνδρομητών στο NMT450 σύστημα αυξήθηκε σταθερά έως το 1995 συμπληρώνοντας συνολικά 200.000 συνδρομητές. Το δίκτυο NMT450 καλύπτει όλους τους συνδρομητές εκτός από μερικές αραιοκατοικημένες περιοχές της Φινλανδίας.

Το δίκτυο NMT900 ιδρύθηκε το 1986 για να αυξήσει την ικανότητα των πυκνοκατοικημένων περιοχών όπου η ικανότητα του συστήματος NMT450 είχε γίνει ανεπαρκής. Ο αριθμός των συνδρομητών αυξήθηκε πολύ γρήγορα στην αρχή της δεκαετίας του '90, το 1995 υπήρξαν κατά προσέγγιση 440.000 συνδρομητές. Ο αριθμός δεν έχει αυξηθεί σημαντικά μετά από αυτό. Η κάλυψη του δικτύου NMT900 δεν είναι τόσο εκτενής όπως η κάλυψη του δικτύου NMT450.

Το σφαιρικό σύστημα κινητής επικοινωνίας (**G**lobal **S**ystem **M**obile) ξεκίνησε να λειτουργεί το 1992. Ο σκοπός του δικτύου GSM ήταν να παρασχεθεί η νέα υπηρεσία στις πυκνοκατοικημένες περιοχές όπου η ικανότητα των άλλων δικτύων είχε ξεπεραστεί. Ο αριθμός των συνδρομητών αυξήθηκε γρηγορότερα στο δίκτυο GSM από ό,τι στα άλλα δίκτυα από το 1994, και αυξάνεται ακόμα. Υπήρξαν 1.500.000 συνδρομητές μέχρι το τέλος του 1997.

Τα παρόντα δίκτυα μπορεί να είχαν υπερφορτωθεί στις πυκνοκατοικημένες περιοχές λόγω της τεράστιας δημοτικότητας των κινητών τηλεφώνων. Επομένως, τα νέα δίκτυα GSM1800 εισήχθησαν το 1997. Η εισαγωγή των GSM1800 ήταν πιθανή επειδή το φάσμα συχνότητας που χρειάστηκε για τα νέα δίκτυα δεν χρησιμοποιείται πλέον για τις ράδιο-συνδέσεις. Στην Φινλανδία, αυτή την περίοδο χρησιμοποιείται στα κινητά συστήματα φάσμα συχνότητας, διαμόρφωση και δύναμη παραγωγής των φορητών τηλεφώνων όπως παρουσιάζεται στον πίνακα I. Η ανάπτυξη στον αριθμό των συνδρομητών στα κινητά τηλεφωνικά συστήματα στη Φινλανδία κατά τη διάρκεια του 1970 –1997 παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Στο τέλος του 1997, υπήρξαν περισσότεροι από 2 εκατομμύρια χρήστες κινητών τηλεφώνων στη Φινλανδία. Με άλλα λόγια, υπήρξαν 40 κινητές τηλεφωνικές συνδρομές για κάθε 100 κάτοικους. Σύμφωνα με τις πληροφορίες που παραλαμβάνονται από το δίκτυο η μέση διάρκεια χρήσης ενός τηλεφωνήματος είναι 1 –2 λεπτά. Εντούτοις, η διάρκεια των κλήσεων και ο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ SNR

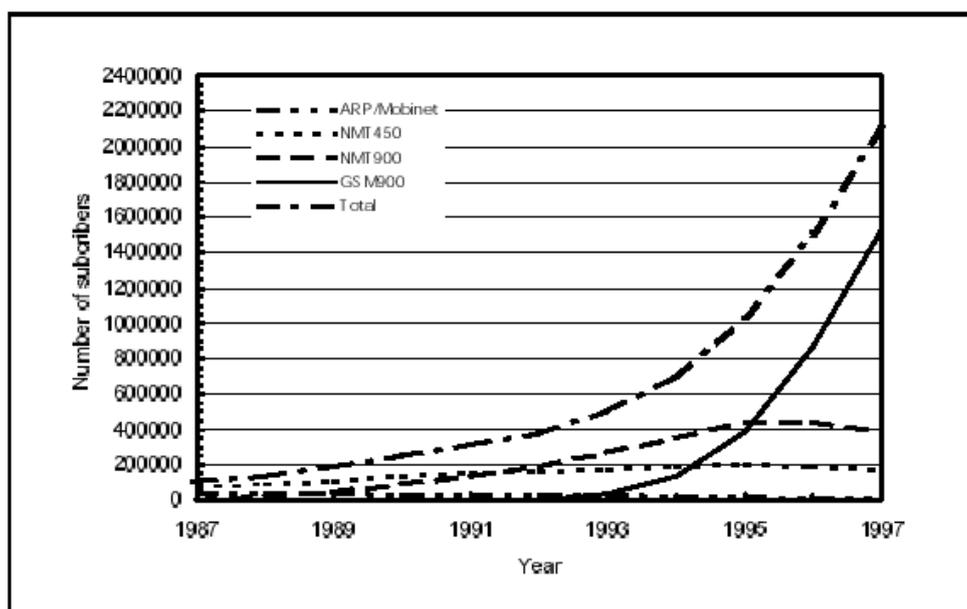
αριθμός κλήσεων ανά άτομο μπορούν να αυξηθούν στο μέλλον όταν τα κινητά τηλέφωνα θα αντικαταστήσουν τα σταθερά τηλέφωνα .

**Πίνακας 1.** Τεχνικές πληροφορίες για τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας στη Φινλανδία

System	ARP/ Mobinet	NMT450	NMT900	GSM900	GSM1800
Frequency range (MHz)					
Phone	152.9–154.9	453–457.5	890–915	890–915	1,710–1,785
Base station	147.9–149.9	463–467.5	935–960	935–960	1,805–1,880
Modulation method	Analog	Analog	Analog	Digital	Digital
Peak output power of the handheld phone <sup>1)</sup> (W)	5	1.5	1	2	1
Maximum mean (rms) output power of the handheld phone (W)	5	1.5	1	0.25	0.125

<sup>1)</sup> Pulse power in the case of the GSM mobile phone systems

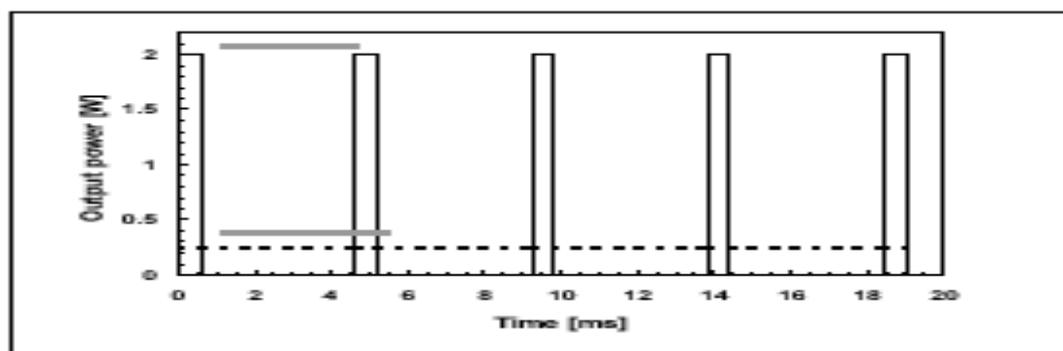
**Figure 2.** Η ανάπτυξη του αριθμού συνδρομητών στα κινητά τηλεφωνικά συστήματα στη Φινλανδία το 1987–1997.



## 1.2 ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ

Τα παλαιότερα δίκτυα NMT χρησιμοποιούν αναλογική διαμόρφωση ενώ τα GSM δίκτυα χρησιμοποιούν ψηφιακή διαμόρφωση. Στην αναλογική διαμόρφωση η ομιλία μετασχηματίζεται σε ένα αναλογικό σήμα μέσω του μικροφώνου του τηλεφώνου. Αυτό το αναλογικό σήμα χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει τη συχνότητα (Gpr/Mobinet) ή τη φάση (NMT) του κύματος μεταφορέων RF. Κατά τη διάρκεια της ομιλίας το τηλέφωνο διαβιβάζει ένα συνεχές σήμα σταθερού εύρους.

Στην ψηφιακή διαμόρφωση, το αναλογικό σήμα που παράγεται από το μικρόφωνο επιλέγεται 8.000 φορές ανά δευτερόλεπτο. Κάθε δείγμα αποτελείται από 13 byte (0 ή 1). Το ψηφιακό σήμα είναι συμπυκνωμένο στο λεκτικό αποκωδικοποιητή. Μετά από αυτό οι κώδικες διορθώσεων λάθους προστίθενται σε αυτόν. Το μεταφέρων κύμα είναι διαμορφωμένο με τροποποιημένο bitstream έτσι ώστε 0-byte μετατόπιση της φάσης του σήματος κατά  $-90^\circ$  και 1-byte κατά  $+90^\circ$  (Minimum Shift Keying, MSK). Το εύρος των κυμάτων που μεταφέρεται είναι απαλλαγμένο σε αυτή τη φάση. Το διαμορφωμένο σήμα περνά μέσω ενός φίλτρου (αποκαλούμενου Γκαουσσσιανό φίλτρο) για να μειώσει το εύρος ζώνης. Το κινητό τηλέφωνο διαβιβάζει τα διαμορφωμένα bits σε μικρά τμήματα, τα οποία έχουν διάρκεια 0,577 ms (1 time slot) και επαναληπτικό ποσοστό 4.615ms (8 time slot). Η διαβιβασθείς δύναμη ενός GSM τηλεφώνου ως λειτουργία του χρόνου παρουσιάζεται στο σχήμα 3. Η μέγιστη μέση δύναμη είναι περίπου 1/8 της δύναμης του σφυγμού. Κατά τη διάρκεια μιας τηλεφωνικής GSM900 επικοινωνίας η μέγιστη μέση δύναμη είναι περίπου 0,23W κατά τη διάρκεια της ομιλίας και η ελάχιστη μέση δύναμη είναι 0,03W κατά τη διάρκεια των περιόδων ακούσματος στο DTX τρόπο (ασυνεχής μετάδοση). Στον εφεδρικό τρόπο, τα κινητά τηλέφωνα καθιερώνουν μια σύντομη σύνδεση που καλείται "αναπροσαρμογή θέσης" στον κοντινότερο σταθμό βάσης μία φορά σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα ή κατά την κίνηση από μια περιοχή θέσης προς άλλη.



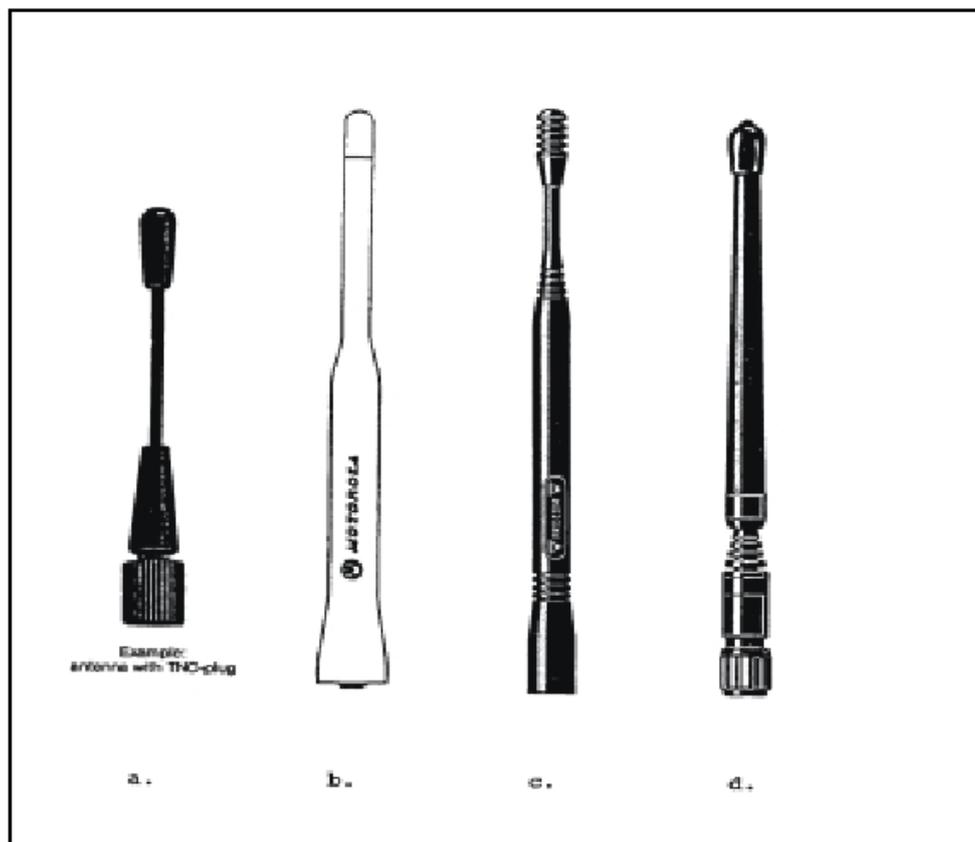
**Figure 3:** Μεταφερόμενη δύναμη ενός τηλεφώνου GSM ως λειτουργία του χρόνου.

Υπάρχουν τα κινητά τηλέφωνα τα οποία το μικρόφωνο, το ακουστικό και η κεραία είναι όλα στο ίδιο περίβλημα. Συνήθως σε αυτά η κεραία βρίσκεται μερικά εκατοστόμετρα μακριά από το κεφάλι του χρήστη. Μερικές φορές η κεραία μπορεί ακόμη να αγγίξει και το λοβό του αυτιού. Υπάρχουν όμως και κινητά τηλέφωνα που το μικρόφωνο και το ακουστικό βρίσκονται σε χωριστό μέρος και συνδέονται μέσω πομπό-δέκτη τότε η απόσταση του χρήστη από τον πομπό-δέκτη μπορεί να είναι περισσότερα από 0,5 μέτρα εξαιτίας της ίνας.

Η πιο κοινή φορητή τηλεφωνική κεραία είναι η whip, της οποίας το μήκος είναι χαρακτηριστικά  $\lambda/4$ ,  $3\lambda/8$  ή  $\lambda/2$  (όπου  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος). Μια whip κεραία είναι φτηνή και εύκολη στην κατασκευή. Έχει ευρύ εύρος ζώνης και ένα κατάλληλο σχέδιο ακτινοβολίας για τηλεφωνική χρήση. Μερικά παραδείγματα whip κεραιών 900MHz παρουσιάζονται στο Σχήμα 4. Η τρέχουσα διανομή της κεραίας αλλάζει έτσι ώστε το μέγιστο ρεύμα να κινείται από τη βάση της κεραίας προς το κεντρικό σημείο της όταν η κεραία γίνεται μακρύτερη. Το τρέχον μέγιστο της κεραίας  $\lambda/4$  βρίσκεται πιο κοντά στο κεφάλι του χρήστη. Επίσης σχετικά ισχυρά ηλεκτρικά ρεύματα μπορεί να προκληθούν στο περίβλημα του τηλεφώνου. Στην περίπτωση των κεραιών  $3\lambda/8$  και  $\lambda/2$  τα ρεύματα είναι πιο αδύναμα, και το τρέχον μέγιστο της κεραίας βρίσκεται πιο μακριά από το κεφάλι του χρήστη.

Εκτός από τις whip κεραιές υπάρχουν και οι ελικοειδείς κεραιές που χρησιμοποιούνται επίσης στα κινητά τηλέφωνα. Μια ελικοειδής κεραία αποτελείται από ένα καλώδιο που τυλίγεται με μορφή ενός έλικα. Το πλεονέκτημα του ελικοειδούς σχεδίου είναι το μικρό μέγεθός του. Ένα διπλό σχέδιο κεραιών και συμπεριλαμβανομένου μιας whip και μια ελικοειδής κεραία είναι χρησιμοποιημένο στα πιο πρόσφατα τηλεφωνικά πρότυπα. Η whip χρησιμοποιείται μόνο όταν η κεραία είναι πλήρως εκτεταμένη. Ενώ, η ελικοειδής κεραία, χρησιμοποιείται στη βάση της whip. Εντούτοις, οι whip και οι ελικοειδείς κεραιές σπάνε εύκολα εάν το τηλέφωνο κακομεταχειρίζεται π.χ. με τη ρίψη του. Επίσης ενσωματωμένες επίπεδες κεραιές όπως η επίπεδη κεραία F (PIFA), η διπλή κεραία L και η κεραία microstrip (Haarala 1998) έχουν αναπτυχθεί. Αυτές οι κεραιές είναι κατάλληλες να χρησιμοποιηθούν στη σειρά 1.800MHz, ειδικά, η υψηλή συχνότητα επιτρέπει σε αυτές να γίνουν αρκετά μικρές για να μπορούν να συνδεθούν με το τηλέφωνο χωρίς προεξέχοντα μέρη.

Στο τέλος του αιώνα, τα επίγεια δίκτυα θα συνοδευτούν από δορυφόρο στα βασισμένα δίκτυα. Τα τηλέφωνα που θα χρησιμοποιούνται στις κινητές δορυφορικές επικοινωνίες θα μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια ή ελαφρώς υψηλότερη δύναμη παραγωγής από τα τηλέφωνα στα τρέχοντα επίγεια κινητά συστήματα.



**Figure 4.** παραδείγματα whip κεραιών για 900MHz. α)  $1/4$  κεραία, ύψος 100 mm, β)  $1/8$  κεραία, ύψος 150 mm, γ)  $1/2$  κεραία με ύψος 210 mm., Δ)  $1/2$  κεραία, ύψος 200 mm. (Laukkanen 1993.)

### 1.3 ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣ ΘΟΡΥΒΟ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΜΕΝΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΥΡΙΑ ΙΣΧΥ ΤΩΝ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ.

Έγιναν κάποιοι υπολογισμοί σχετικά με το μαγνητικό πεδίο ( $B_1$ ) RF το οποίο λειτουργεί σε συχνότητες μεταξύ 64 και 345MHz και εκτελέστηκε σε κεφάλι πρότυπο με μια εξιδανικευμένη σπείρα birdcage. Επίσης υπολογίστηκε απορροφημένη δύναμη ( $P_{abs}$ ) και SNR σε κάθε συχνότητα για το εύρος σφυγμού διέγερσης. Μέχρι τα 260MHz υπάρχουν γραμμικές αυξήσεις SNR και ο τομέας δύναμης αρχίζει να αυξάνεται με ένα μεγαλύτερο ποσοστό. Επάνω από 215MHz στο ανθρώπινο κεφάλι, η χρήση του εύρους FID για να θέσει  $B_1$  διέγερση των σφυγμών μπορεί να επιφέρει μια προφανείς μείωση σε SNR και στη δύναμη απαίτησης με την αυξανόμενη στατική δύναμη τομέων.

Προβλέψεις των τάσεων σήματος σε αναλογία προς θόρυβο (SNR) και του ειδικού ρυθμού απορρόφησης (SAR) με την αύξηση της στατικής ισχύος των μαγνητικών πεδίων ( $B_0$ ) βασισμένη στην MR θεωρία, που είναι η αρχή της αμοιβαιότητας, και στο αναλυτικό μαγνητικό πεδίο RF ( $B_1$ ) όπου οι υπολογισμοί έχουν αποδειχθεί να είναι εύλογα ακριβείς στις συχνότητες μέχρι 64MHz στο κεφάλι και στο σώμα. Πειράματα που εκτελέστηκαν

αυτήν την περίοδο σε στατικές ισχύεις μαγνητικών πεδίων ( $B_0$ ) τόσο υψηλές όπου η συχνότητα του μαγνητικού πεδίου RF ( $B_1$ ) είναι περίπου 340MHz. Σε αυτές τις συχνότητες αναμένεται σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ του εφαρμοσμένου  $B_1$  τομέα και των ανθρώπινων ιστών. Τα αποτελέσματα αυτής της αλληλεπίδρασης στο SNR και στη συνολική απορροφημένη δύναμη είναι περίπλοκα, και εξαρτώνται από το πείραμα που εκτελείται, τη σπείρα RF, τον τύπο και την απόδοση, και ακόμη και τη θέση της σπείρας. Σε αυτήν τη μελέτη εκτελέσαμε τους υπολογισμούς του SAR, όπου η συνολική απορροφημένη δύναμη στο κεφάλι και στους ώμους, σε συχνότητες μεταξύ 64 και 345MHz για ακριβές πρότυπο σε μια εξιδανικευμένη σπείρα και η επικεφαλής θέση και ο προσανατολισμός, καθώς επίσης και η συμπεριφορά των σπειρών είναι σταθερή έτσι ώστε η  $B_1$  συχνότητα και ο καθορισμός του σφυγμού διέγερσης να είναι οι μόνες μεταβλητές. Ηλεκτρικές ιδιότητες από όλους τους ιστούς τίθενται κατάλληλα σε κάθε συχνότητα. Το εύρος του σφυγμού διέγερσης καθορίζεται με διαφορετικές μεθόδους σε κάθε συχνότητα. Κατά συνέπεια, τα συμπεράσματα σχετικά με το σήμα, το εύρος FID, και το SNR που παρουσιάζονται εδώ πρέπει να θεωρηθούν προβλέψιμα από τους τύπους των φαινομένων που μπορούν να φανούν στην υψηλή συχνότητα λόγω της συμπεριφοράς των τομέων RF.

#### 1.4 Η ΜΕΘΟΔΟΣ FDTD

Η πεπερασμένη χρονική περιοχή διαφοράς (Finite-Difference Time-Domain) FDTD στην αριθμητική μέθοδο για τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, χρησιμοποιήθηκε για να υπολογίσει όλα τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία σε ένα επικεφαλές πρότυπο με εξιδανικευμένη σπείρα birdcage. Εδώ παρουσιάζεται το MR πείραμα με τη μέθοδο FDTD, που αφορά τα υπολογισμένα αποτελέσματα του πειράματος αυτού.

#### 1.5 ΕΠΙΚΕΦΑΛΕΣ ΠΡΟΤΥΠΟ

Ένα πρότυπο του ανθρώπινου κεφαλιού για τη χρήση με τη μέθοδο FDTD δημιουργήθηκε πρώτα για να τέμνει 120 ψηφιακές εικόνες των αξονικών φετών μέσω ενός πτώματος από την Εθνική βιβλιοθήκη του ορατού ανθρώπινου προγράμματος της ιατρικής των 20 υλικών (18 ιστοί, ένα ελεύθερο διάστημα, και ένα μέταλλο οδοντικής πλήρωσης), και έπειτα μετασχηματισμός αυτών των τετμημένων εικόνων σε ένα τρισδιάστατο πλέγμα κύβων των κυττάρων Yee. Ένα πρόγραμμα υπολογιστών γράφτηκε για να εκτελέσει το μετασχηματισμό, και ένα άλλο γράφτηκε για να εξασφαλίσει τη συνοχή του δέρματος στην εξωτερική επιφάνεια του προτύπου. Η κατάτμηση εκτελέσθηκε με το χέρι σε σχέση με τα εγχειρίδια στην ανατομία και με βοήθεια δύο εν ενεργεία ακτινολόγων. Σε κάθε συχνότητα, κατάλληλες τιμές για τον ιστό, ήταν, μαζική πυκνότητα, περιεκτικότητα σε ύδωρ, ηλεκτρική επιπρεψιμότητα και η αγωγιμότητα που ορίστηκαν σε κάθε ιστό. Οι πληροφορίες μαζικής πυκνότητας ιστού ήταν χρήσιμες για τον υπολογισμό του SAR, και στο ύδωρ το περιεχόμενο που χρησιμοποιήθηκε για το σήμα βάρους από τους διαφορετικούς ιστούς ήταν

διαφορετικό στον υπολογισμό από τις μιμούμενες εικόνες. Η ηλεκτρική επιτρεψιμότητα και η αγωγιμότητα είναι απαραίτητες για τον υπολογισμό των τομέων RF.

## 1.6 ΛΥΣΕΙΣ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΚΑΙ ΤΟΜΕΙΣ ΣΠΕΙΡΩΝ

Η σπείρα birdcage διαμορφώθηκε με την διεύθυνση του υλικού στη θέση των ποδιών και των δακτύλων των ποδιών και με ίσο πλάτος στην πηγή τάσης που τοποθετείται στο κέντρο κάθε ποδιού και στη μέση κάθε τμήματος των δακτύλων των ποδιών. Τα πόδια διαμορφώθηκαν σαν λεπτά καλώδια, ενώ τα δάχτυλα των ποδιών διαμορφώθηκαν με ολόκληρο το κύτταρο Yee που ήταν αντίστοιχο των διαστάσεων  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  και  $\Delta z = 2,2$  και  $2,5$  εκατ. όπου  $\Delta x$  είναι από τα αριστερά προς τα δεξιά η κατεύθυνση του προτύπου,  $\Delta y$  είναι η προηγούμενη μεταγενέστερη κατεύθυνση του προτύπου, και  $\Delta z$  είναι η ανώτερη κατεύθυνση του προτύπου. Στον πρώτο υπολογισμό τομέων, οι πηγές τάσης οδηγήθηκαν σε μια φάση ίση με την αζιμουθιακή γωνία και με τις πηγές τάσης στα αντίθετα δάχτυλα των ποδιών έχοντας απέναντι την αζιμουθιακή γωνία συν  $90^\circ$ . Το αποτέλεσμα είναι μια διανομή τάσης σύμφωνη με μια δυνατότητα για μια band-pass birdcage στην ιδανική αντήχηση τετραγωνισμού. Το μεγαλύτερο συστατικό που πολώνεται κυκλικά ( $B^*1$ ) αυτού του τομέα καθορίστηκε ως εξής

$$\hat{B}_1^+ = (\hat{B}_x^a + i\hat{B}_y^a) \div 2 \quad [1a]$$

Όπου  $B^*x$  και  $B^*y$  είναι τα σύνθετα εύροι του X και Y που είναι προσανατολισμένα στα μαγνητικά πεδία RF, αντίστοιχα, όπως δημιουργείται η σπείρα που περιγράφεται ακριβώς, όπου το  $i$  είναι μια φανταστική μονάδα, και όπου τα φανταστικά συστατικά είναι  $90^\circ$  όπως και τα πραγματικά. Η περισπωμένη χρησιμοποιείται για να δείξει ότι το  $a$  είναι σύνθετος αριθμός. Το σύνθετο εύρος (δηλαδή το μέγεθος και η πληροφορία φάσης) κυκλικά πολωμένη που το συστατικό είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό του εύρους FID. Προκειμένου να παραχθούν το μέγεθος και η φάση στα κυκλικά πολωμένα συστατικά στον ελλειπτικό πολωμένο τομέα, πρέπει να εξεταστούν το μέγεθος και η φάση του X και Y. Ένας δεύτερος υπολογισμός του τομέα εκτελέστηκε με τις πηγές τάσης που οδηγήθηκαν με τις φάσεις απέναντι από εκείνες στην πρώτη περίπτωση. Το μικρότερο κυκλικά πολωμένο συστατικό ( $B^*1$ ) αυτού του τομέα καθορίστηκε

$$\hat{B}_1^- = (\hat{B}_x^b - i\hat{B}_y^b)^* \div 2 \quad [1b]$$

όπου το γραμμένο στο επάνω μέρος  $b$  δείχνει τους τομείς που παράγονται από αυτό στη δεύτερη διαμόρφωση και ο αστερίσκος δείχνει την κλίση του συγκροτήματος. Είναι δυνατό να μιμηθεί η πραγματική αντήχηση σπειρών μέχρι ενός ορισμένου βαθμού με τη μέθοδο FDTD. Δεδομένου ότι σε ένα πείραμα κάθε σπείρα συμπεριφέρεται διαφορετικά, και δεδομένου ότι σε αυτήν την εργασία ενδιαφερόμαστε περισσότερο για τον τομέα αλληλεπίδρασης με το ανθρώπινο κεφάλι, οι ιδανικές προσεγγίσεις σπειρών είναι περισσότερο κατάλληλες για αυτήν την μελέτη. Οι υπολογισμοί εκτελέστηκαν στα 64, 125, 175, 215, 260, 300, και 345MHz (που αντιστοιχούν, κατά προσέγγιση, σε 1,5, 3, 4, 5, 6, 7, και 8 Tesla B0 δυνάμεις

τομέων ). Όλες οι λύσεις τομέων οργανώθηκαν και εκτελέστηκαν με την ενίσχυση.

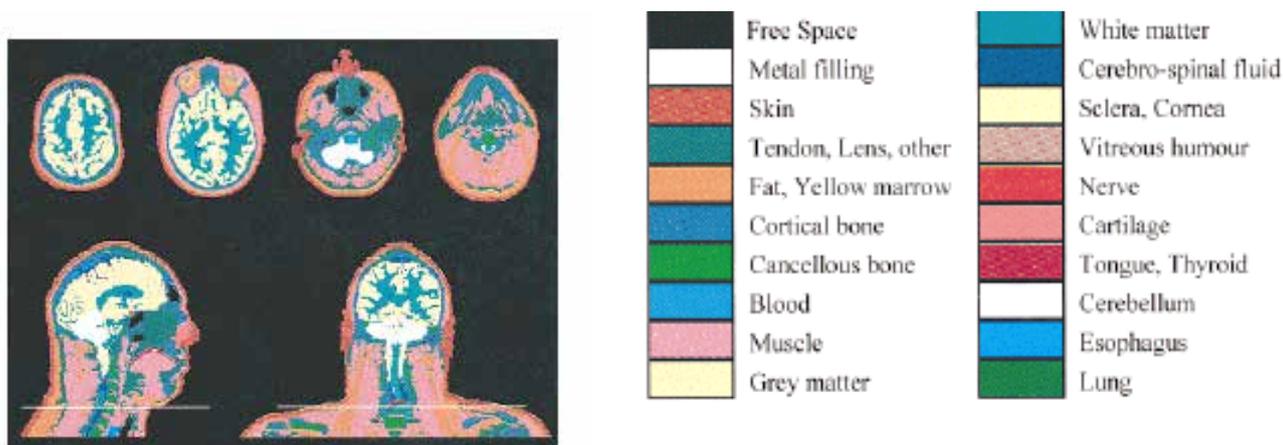


FIG. 1. Τρισδιάστατη εικόνα του κεφαλιού και των ώμων με  $D_x$ ,  $D_y$ , και  $D_z = 2, 2,$  και  $2.5$  mm, αντίστοιχα. Κορυφή: Αξονικές φέτες μέσω του κεφαλιού σε διαστήματα 5cm. Κατώτατο δικαίωμα: Φέτα που επιλέγεται στεφανιαία για να παρουσιάσει έκταση του ώμου. Μόνο η περιοχή επάνω από (ανώτερος) την άσπρη γραμμή θεωρείται "κεφάλι" για τους υπολογισμούς SAR.

## 1.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ SNR

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται εδώ για τον υπολογισμό SNR είναι παρόμοιες με εκείνες του Edelstein, οι οποίες είχαν επιτυχία στις χαμηλότερες συχνότητες στην περιγραφή της τάσης SNR με τη συχνότητα που χρησιμοποιούν μόνο τα αναλυτικά πρότυπα του RF στη συμπεριφορά τομέων,

$$\text{SNR} \propto f^2 \frac{\sum_N |W_n \sin(V|\hat{B}_{1n}^+| \gamma \tau)| |\hat{B}_{1n}^-|^*|}{\sqrt{P_{\text{abs}}}} \quad [4]$$

και στο  $P_{\text{abs}}$ , η συνολική απορροφημένη δύναμη σε ολόκληρο το πρότυπο, υπολογίζεται

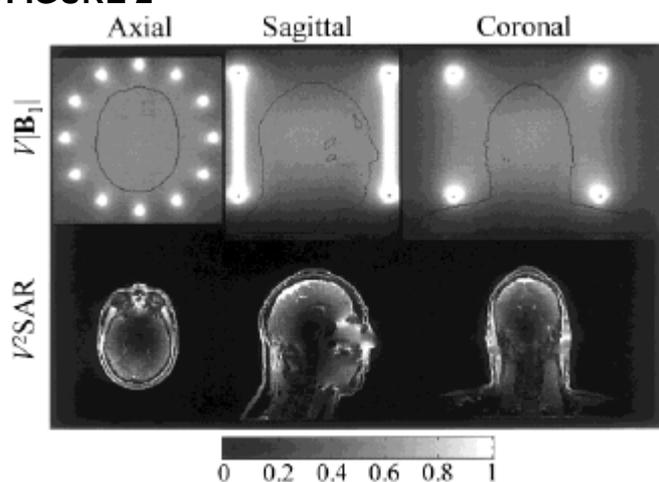
$$P_{\text{abs}} = \frac{1}{2} \sum_N (\sigma_{xN} E_{xN}^2 + \sigma_{yN} E_{yN}^2 + \sigma_{zN} E_{zN}^2) \Delta_x \Delta_y \Delta_z \quad [5]$$

όπου  $E$  και  $\sigma$  είναι το μέγεθος και το υλικό αγωγιμότητας των ηλεκτρικών πεδίων αντίστοιχα, και το άθροισμα είναι αναδιαμορφωμένο όπως το πρότυπο. Καθώς επίσης, το  $B_1$ , οι τιμές του  $E$  και  $P_{\text{abs}}$  αντιστοιχούν στα μεγέθη τομέων όπου  $V=1$ .

## 1.8 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η Fig.2 περιέχει τις σκιασμένες πλοκές  $V|B_1|$  και  $V^2SAR$  64MHz. Οι πλοκές δίνονται έτσι ώστε τα τρισδιάστατα σχέδια τομών και SAR να μπορούν να φανούν. Στο  $|B_1|$  η διανομή είναι ομοιογενής όπου σε αυτήν την συχνότητα το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος απορροφάται από την εξωτερική επιφάνεια του κεφαλιού, όπως αναμένεται από τους υπολογισμούς τομών με τις κατάλληλες προσεγγίσεις για τις χαμηλές συχνότητες.

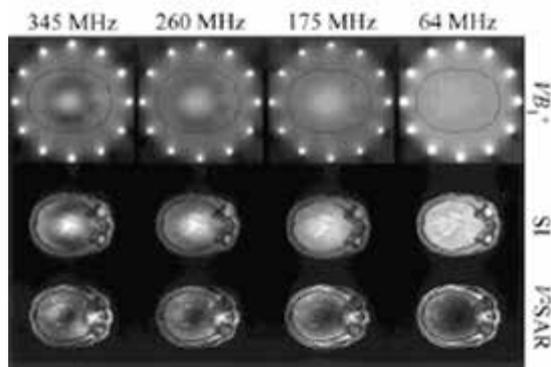
**FIGURE 2**



Η Fig.3 παρουσιάζει τη διανομή  $V B_1^2$  ( $B_1^2 = |B_1^+|^2$ ), από την ένταση των σημάτων (SI) μιας εικόνας κλίσης και ήχου, και  $V^2SAR$ . Καθώς αυξάνεται η συχνότητα, η  $B_1$  διανομή γίνεται όλο και περισσότερο περίπλοκη και η διανομή SAR δεν συγκεντρώνεται πλέον προς το εξωτερικό του κεφαλιού.

Αυτό υποδεικνύει ότι οι χαμηλές συχνότητες προσεγγίσεις θα ισχύσουν λιγότερο από τις υψηλές MR συχνότητες που χρησιμοποιούνται σήμερα. Επειδή η γωνία κτυπήματος είναι ανάλογη προς το  $V B_1^2$ , είναι επίσης προφανές από τη fig. 3 ότι σε υψηλές συχνότητες όπως 345MHz είναι αδύνατον να καθοριστεί ένας αληθινός σφυγμός "90°" σε ένα κεφάλι. Στις υψηλές συχνότητες, η γωνία κτυπήματος ποικίλει.

**FIGURE 3**



Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τα αποτελέσματα για να υπολογιστούν οι τιμές SAR για τα συγκεκριμένα πειράματα με άλλους σφυγμούς, ακολουθίες σφυγμού, και επαναληπτικούς χρόνους. Όπως προηγουμένως αναφέρεται, αναμένεται ότι πολλές τυποποιημένες ακολουθίες απεικόνισης μπορούν να εκτελεστούν σε συχνότητες τόσο υψηλές όπως 345MHz χωρίς να υπερβούν τα τρέχοντα καθιερωμένα όρια του SAR. Στην πραγματικότητα, όλα τα επίπεδα SAR είναι χαμηλότερα από ότι στα προηγούμενα δημοσιευμένα επίπεδα για ένα απλούστερο πρότυπο κεφαλιού όταν ο σφυγμός διέγερσης διαμορφώνεται κατά μέσο όρο στο κεφάλι σε 90°. Η περίπτωση διέγερσης με τις μέσες γωνίες κτυπήματος κοντά στις 90° όπου το Aimage μεγιστοποιείται (μέγιστο Aimage).

Οι γωνίες κτυπήματος είναι σε αυτήν την περίπτωση 89°, 87°, και 84° και 64, 125, και 175MHz, αντίστοιχα. Σε όλες τις άλλες συχνότητες (215–345MHz), η μέση γωνία κτυπήματος ήταν 82°. Για τη μέση γωνία κτυπήματος, το μέγιστο Aimage έχει 20–30% χαμηλότερο SARave από τους προηγούμενους υπολογισμούς και 14–50% χαμηλότερο SAR1cc. Από τότε που το πρότυπο χρησιμοποιήθηκε πολύ περισσότερο ανατομικά, προτείνει ότι η ακρίβεια είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον υπολογισμό των επιπέδων SAR. Ακόμα, έναντι των μετρήσεων μέσα σε ομοιογενή φαντάσματα, αυτές οι μέθοδοι με καθένα πρότυπο πρέπει να δώσουν τις αποδεκτές εκτιμήσεις των επιπέδων SAR.

Σύμφωνα με τους προηγούμενους υπολογισμούς, το τοπικό όριο (1 γ) SAR θα ξεπεραστεί πριν από το μέσο SAR. Αυτό ενισχύει τη σημασία των μεθόδων για τα τοπικά επίπεδα SAR. Σε αυτούς τους υπολογισμούς το μέγιστο τοπικό επίπεδο SAR εμφανίστηκε στο μαλακό ιστό και έπειτα στο ζυγωματικό στα 64, 260, και 300MHz και σε διάστημα 125, 175, και 215MHz στο άνω χείλος ακριβώς κάτω από τη βάση της μύτης σε 345MHz.

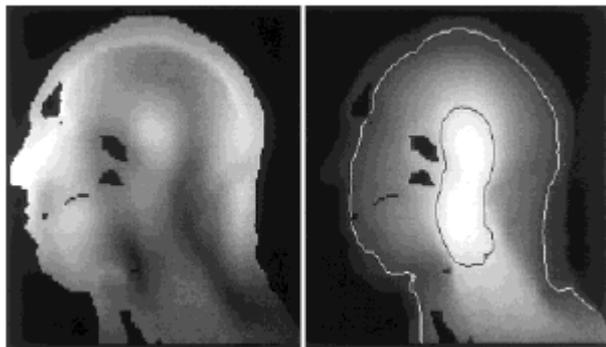


fig.6 Οι σκιασμένες πλοκές του μεγέθους (αριστερά) και της φάσης (δεξιά) στο  $X$  προσανατολισμένο συστατικό του τομέα VB1 σε 345MHz. Το μέγιστο κλίμακας και η πλοκή είναι 2,5mT (γκρίζα κλίμακα σε ένα μέρος του μέγιστου κλίμακας, όπως στη fig. 2). Η σειρά των τιμών φάσης που παρουσιάζεται καλύπτει τις  $262^\circ$ . τα μαύρα και άσπρα περιγράμματα είναι στις τιμές  $180^\circ$  φάσης .

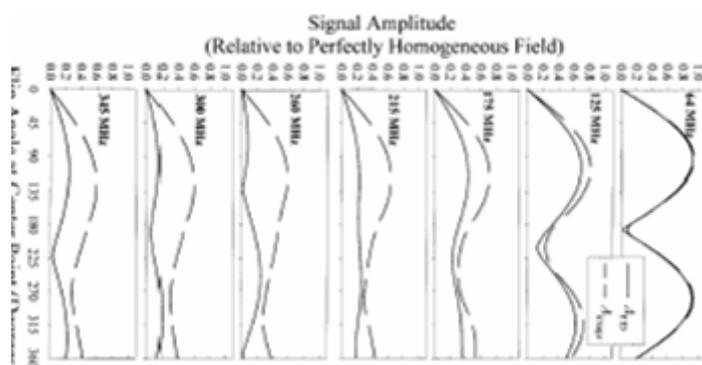


fig. 7 Το Aimage και AFID με την αυξανόμενη γωνία κεντρικού κτυπήματος σε διαφορετικές συχνότητες. Εδώ οι τιμές εκφράζονται ως μέρος στη δεδομένη συχνότητα για έναν τέλει ομοιογενή B1 τομέα. Δεδομένου ότι το AFID και το Aimage υπολογίζονται για την ολόκληρη απεικόνιση, η B1 ανομοιογένεια τομέων έχει επιπτώσεις στις τιμές .

Εντούτοις, μια ελαφρώς διαφορετική διαμόρφωση (επικεφαλής γεωμετρία και θέση, γεωμετρία σπειρών, κ.λ.π.) ή καθορισμός του τοπικού SAR στη περιοχή (μορφή και μέγεθος) θα οδηγούσε πιθανώς σε μέγιστες διαφορετικές θέσεις.

## 1.9 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Αυτά τα αποτελέσματα είναι χρήσιμα στην ένδειξη των τάσεων σχετικά με την RF συμπεριφορά τομέων στις υψηλές B1 συχνότητες, αλλά οι

πραγματικές τιμές που παρατηρούνται στο πείραμα θα εξαρτηθούν από την πραγματική σπείρα, το δείγμα, και το πρωτόκολλο απεικόνισης που χρησιμοποιείται στο πείραμα. Για παράδειγμα, εάν ένα μικρότερο διαγώνιο τμήμα ή μικρότερη διατομή κατευθείαν στο κεφάλι χρησιμοποιηθεί, τα αποτελέσματα του μήκους κύματος μπορεί να μην επηρεάσουν το AFID μέχρι σε μια υψηλότερη συχνότητα, και το  $P_{abs}$  θα είναι πιθανώς λιγότερο. Επίσης, πειραματικός οι τιμές SNR εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, όπως η στατική ομοιογένεια τομέων (διερευνούν αποτελέσματα ευαισθησίας και γραμμή), πάχος φετών, και εύρος ζώνης δεκτών. Για τους λιπαρούς ιστούς, η περιεκτικότητα σε ύδωρ μπορεί να μην υπολογίζει με ακρίβεια την πυκνότητα των πρωτονίων, γιατί τα πρωτόνια στο λιπίδιο έχουν συνήθως ένα σημαντικό σήμα σε αυτές τις ακολουθίες. Στους μελλοντικούς υπολογισμούς μπορεί να είναι χρήσιμο να λάβουμε υπόψη μας μερικούς από αυτούς τους παράγοντες.

## 1.10 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πλήρης υπολογισμοί για έναν ανατομικά ακριβή κεφάλι σε μια εξιδανικευμένη σπείρα birdcage δείχνουν μια γραμμική αύξηση SNR (πέρα από μια αξονική επίπεδη φέτα μέσω κεφαλιού) με την αυξανόμενη συχνότητα για τις συχνότητες μέχρι 260MHz όταν σχεδιάζεται ο σφυγμός διέγερσης και θέλει να καταφέρει  $\alpha=90^\circ$  στο κέντρο σπειρών ή να παραγάγει το μέγιστο σήμα στην αναδημιουργημένη εικόνα. Αυτό συμφωνεί με τις χαμηλές συχνότητες, με τις θεωρητικές προσδοκίες και με τα πειραματικά αποτελέσματα. Αυτοί οι υπολογισμοί προβλέπουν επίσης μια μικρή αύξηση στην κλίση SNR με συχνότητα άνω των 260MHz. Στην απεικόνιση του ανθρώπινου κεφαλιού στις συχνότητες πάνω από 215MHz, το εύρος ενός ενιαίου FID δεν μπορεί να χρησιμοποιείται για να προβλέπει ακριβώς το συνολικό εύρος σημάτων μέσα σε μια αναδημιουργημένη εικόνα ή να μπορεί να προβλέπει τη "γωνία κτυπήματος" του  $\alpha$  λαμβάνοντας υπόψη το σφυγμό, από τη θέση του δείγματος σε αυτές τις συχνότητες.

Οι υπολογισμοί της απορροφημένης δύναμης και του SAR προτείνουν ότι αυτές οι οντότητες δεν θα αυξηθούν με B1 συχνότητα τόσο γρήγορα όσο αναμένεται με τις χαμηλής συχνότητας προσεγγίσεις. Στην πραγματικότητα, η κλίση της απορροφημένης ισχύος με την αυξανόμενη συχνότητα θα μειωθεί. Αυτοί οι υπολογισμοί, σε συνδυασμό με τις μεθόδους για το SAR για τις συγκεκριμένες ακολουθίες, δείχνουν ότι θα μπορούσαν να εκτελεστούν σε συχνότητες υψηλές όπως 345MHz στο κεφάλι με έναν τετραγωνισμό σπείρας όγκου χωρίς υπέρβαση των τρεχόντων ορίων στο SAR.

## 2.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΩΝ

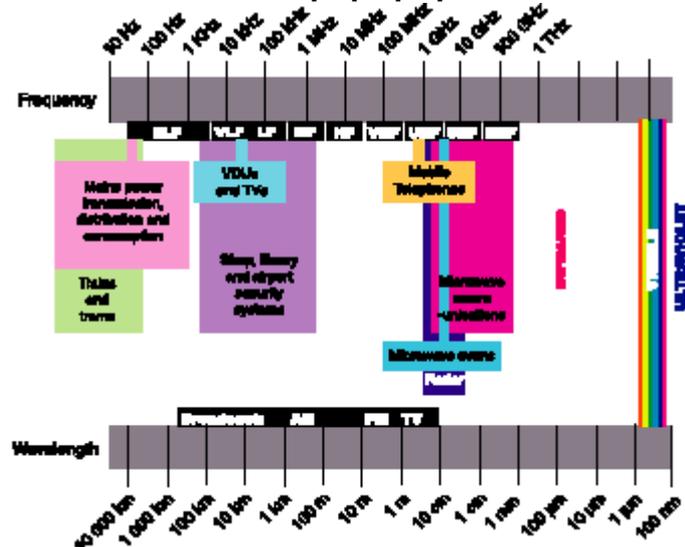
Υπάρχει αυξανόμενη ανησυχία ότι η κινητή τηλεφωνική χρήση μπορεί να είναι κίνδυνος για τον εγκέφαλο και τα μάτια. Σε απάντηση σε αυτό, το τμήμα Υγιεινής έχει δημιουργήσει ένα πίνακα της εθνική ραδιολογικής προστασίας με σκοπό να οργανώσει μια ανεξάρτητη ομάδα εργασίας εμπειρογνομόνων που αξιολογεί την τρέχουσα κατάσταση της έρευνας στα κινητά τηλέφωνα. Τα κινητά τηλέφωνα και οι σταθμοί βάσης με τους οποίους επικοινωνούν, δεν είναι τίποτα άλλο από πομποδέκτες ραδιοσυχνοτήτων, συχνοτήτων δηλαδή παρόμοιων με αυτές της τηλεόρασης και του ραδιοφώνου. Για την ακρίβεια, τα ΚΤ λειτουργούν σε συχνότητες λίγο παραπάνω από τα UHF της τηλεόρασης. Οι σταθμοί βάσης εκπέμπουν συνεχώς ραδιοκύματα, τα οποία όμως εξασθενούν σημαντικά μόλις 1-2 μέτρα από την κεραία. Η δέσμη συνήθως στοχεύει στον ορίζοντα, επομένως οι άνθρωποι που βρίσκονται ακριβώς από κάτω δεν δέχονται καμία ακτινοβολία. Τα ΚΤ δεν εκπέμπουν ραδιοκύματα συνεχώς. Όταν το ΚΤ βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής, εκπέμπει σύντομους παλμούς (1-2 sec) με σκοπό να καθορίσει τη θέση του μέσα στο δίκτυο, ενώ όταν δέχεται ή πραγματοποιείται μια κλήση, εκπέμπει με μεγάλη ισχύ αρχικά και μετέπειτα όσο απαιτείται για να διατηρηθεί η σύνδεση. Πρακτικά η ισχύς του ΚΤ κατά τη διάρκεια της συνομιλίας είναι αντιστρόφως ανάλογη με το "σήμα" της λήψης της κεραίας, δηλαδή όσο καλύτερη "επαφή" έχουμε τόσο λιγότερη ενέργεια εκπέμπει το ΚΤ μας. Οι συσκευές κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιούνται κοντά στο σώμα και το κεφάλι του χρήστη και απορροφούν μερικά από τα ραδιοκύματα. Η ποσότητα ενέργειας που κατατίθεται στο σώμα εξαρτάται από τη συχνότητα της ακτινοβολίας. Σε υψηλότερες συχνότητες, απορροφάται περισσότερη ενέργεια, το μεγαλύτερο ποσοστό απορροφάται κοντά στην επιφάνεια της πλευράς του σώματος που έρχεται σε επαφή με την πηγή, δηλ. τις συσκευές της κινητής τηλεφωνίας. Σε 1 gigahertz (GHz) (μικροκύματα) σχεδόν όλη η ενέργεια έχει απορροφηθεί στα πρώτα 2-3cm του ιστού.

## 2.2 ΑΝΤΗΧΗΣΗ, ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Η αντήχηση είναι ένα φυσικό φαινόμενο και ένα γνωστό παράδειγμα είναι τι συμβαίνει όταν χτυπάτε ένα συντονίζων δίκρανο. Αυτό έχει συντονιστεί για να αντηχεί στην ιδιαίτερη συχνότητα, για μουσικό σκοπό, ανεξάρτητα από το πόσο σκληρά χτυπιέται. Αλλά οποιοδήποτε κοντινό αντικείμενο που αντηχεί φυσικά στην ίδια συχνότητα θα αρχίσει να δονείται μαζί με το συντονίζων δίκρανο. Η αρχή ισχύει για γυαλιά, κύτταρα, κόκαλα - στην πραγματικότητα όλα κάτω από τον ήλιο έχουν την δική τους ηχηρή συχνότητα. Το ανθρώπινο σώμα θα αντηχήσει επίσης. Η μέγιστη απορρόφηση για ένα ενήλικο άτομο είναι περίπου 75MHz (ζώνη VHF). Αλλά το ίδιο το κεφάλι αντηχεί σε μια πολύ υψηλότερη συχνότητα, περίπου 1 GHz (ζώνη επικοινωνίας μικροκυμάτων). Στις υψηλότερες συχνότητες, ο βασικός μηχανισμός της αλληλεπίδρασης είναι μοριακής περιστροφής. Έτσι τα πολικά μόρια τείνουν να ευθυγραμμιστούν στο ηλεκτρικό πεδίο και όπως αυτό ταλαντεύεται, τα μόρια τείνουν να ακολουθήσουν τις ταλαντώσεις στη διαδικασία, αυτή της ενέργειας της θερμότητας που έχει τη βάση της στο φούρνο μικροκυμάτων. Εδώ

βλέπουμε την εξήγηση των θερμικών επιδράσεων των κινητών τηλεφώνων στο κεφάλι και τα μάτια.

FIGURE 1 . Ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ακτινοβολία



Πίνακας 1
<b>Σειρές ραδιοσυχνότητας για την απορρόφηση στο ανθρώπινο σώμα</b>
Υπάρχουν τέσσερις περιοχές για την απορρόφηση στο ανθρώπινο σώμα, που ποικίλλουν με τη συχνότητα
1. Πάνω από 30MHz περιοχή υπό -αντήχησης. Η επιφάνεια κορμών (λαιμός και πόδια) παρουσιάζει σημαντική απορρόφηση.
2. Από 30-300MHz - περιοχή αντήχησης - ολόκληρο το σώμα και τα μέρη μπορεί να αντηχήσουν.
3. Από 300MHz - 3 GHz – η περιοχή των ‘καυτών σημείων’ - σημαντική θέρμανση των περιοχών από 1c έως αρκετά c. Αυτή η περιοχή καλύπτει τις κινητές τηλεφωνικές συχνότητες στο UK.
4. Πάνω από 3 GHz – επιφάνεια απορρόφησης - η ενέργεια απορροφάται κοντά, και η θέρμανση περιορίζεται, στην επιφάνεια του σώματος.

Πηγή: WHO "ηλεκτρομαγνητικά πεδία 300Hz - 300 GHz". Γενεύη, 1993)

Πρέπει να ρωτήσουμε, πού είναι η έναρξη του εσωτερικού τραυματισμού στο κεφάλι ποιες είναι οι άκρες ως μέσα διάσχισης, πως μπορούν να προέρθουν τα κενά μνήμης ποια είναι τα αποτελέσματα; Και ποία είναι η σημασία του λεπτού μετά από το λεπτό, ώρα μετά από την ώρα, ημέρα μετά από την ημέρα, έκθεση της πλευράς του κεφαλιού, του αυτιού και των ματιών, στην ακτινοβολία μικροκυμάτων, που πάλλεται εκατοντάδες ή χιλιάδες σφυγμούς το δεύτερον, έναντι μιας αστραπής μικροκυμάτων , ή μια πτώση από ένα άλογο, κάθε μια από τις οποίες είναι σύντομοι αιχμηροί κλονισμοί του εγκέφαλου.

Το 1986, το συμβουλευτικό όργανο της κυβέρνησης, ο Εθνικός Ραδιολογικός Πίνακας Προστασίας, προώθησε το έγγραφο "συμβουλές για την προστασία των εργαζομένων και του κοινού από τους πιθανούς κινδύνους των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων σε συχνότητες κάτω από 300 GHz". Σε αυτό είναι ολοφάνερα δηλωμένο ότι: "Εκθέσεις που δίνουν άνοδο στις ακούσιες αντιδράσεις ή στις μυϊκές συστολές πρέπει να αποφευχθούν, όπως εάν παραχθεί μια ανήσυχη αίσθηση ζεστασιάς που οφείλεται στην άμεση αλληλεπίδραση της ραδιοσυχνότητας ή σε τομείς μικροκυμάτων με το σώμα. Εκθέσεις σε ακτινοβολία μικροκυμάτων που παράγει ένα άμεσο ακροατήριο ως απάντηση πρέπει να αποφευχθούν. Αυτή η προειδοποίηση θα μπορούσε μετά βίας να γίνει πιο σαφής, και απαιτεί από όλους τους επαγγελματίες οφθαλμολόγους να εξετάσουν τους χρήστες της κινητής τηλεφωνίας ως προς τη θερμότητα που παράγεται στα αυτιά και στους κροτάφους (θυμίζοντας ότι το μάτι βρίσκεται πολύ κοντά στον κρόταφο) και να δώσουν κατάλληλες συμβουλές σε εκείνες τις περιπτώσεις όπου οποιοδήποτε από τα ανωτέρω απαριθμημένα αποτελέσματα αναφέρονται. Θυμηθείτε επίσης ότι εξίσου μαθητικός, η απόσταση, το αξονικό μήκος των ματιών, ποικίλλει, τόσο όσο να κάνει τη μορφή του κρανίου πιο παχύ. Επίσης, στις χρονικές περιοχές που το κρανίο παρουσιάζει μέγιστη απόκλιση από τη σφαιρική μορφή αυτό υποτίθεται για μερικούς πρότυπο κρανίου.

Ο Δρ A.T. Barker έχει περιγράψει τις παρενέργειες του ηλεκτρισμού στον εγκέφαλο στο άρθρο του για την ασφάλεια της ηλεκτρικής και μαγνητικής υποκίνησης, που αναφέρει για τους πονοκέφαλους, τις οπτικές παραισθήσεις και τη διαταραχή μνήμης. Εντούτοις, επίσης δήλωσε ότι η δυσμενής επίδραση της υποκίνησης του εγκεφάλου μπορεί να μην είναι ανιχνεύσιμη μέχρι έναν ιδιαίτερο χρόνο. Αυτό ακριβώς περιγράφεται και από τον Δρ Lezaks και από τον Δρ Groenwald αργότερα. Ο Δρ Sienkiewicz από το Εθνικό συμβούλιο ραδιολογικής προστασίας έγραψε, για τα συγκεκριμένα οφθαλμικά αποτελέσματα που μπορούν επίσης να εμφανιστούν. Για να βεβαιωθεί για τις αλλαγές που έχουν βρεθεί μέσα σε διάφορους ιστούς του ματιού, συμπεριλαμβανομένων την ακολουθία φακών των αμφιβληστροειδών και την παρατεταμένη έκθεση στα παλλόμενα μικροκύματα σε επίπεδα που δεν προκαλούν σημαντική θέρμανση. Όπως είπε, τα στοιχεία είναι αντιφατικά, αλλά υπάρχουν αναμφισβήτητα σοβαρά αποτελέσματα τα οποία έχουν βρεθεί σε εργαστηριακές μελέτες. Οι Οφθαλμίατροι είναι, ή θα έπρεπε να είναι, έμπειροι διαλέγοντας τα θέματα στα οποία η ανοσοικανότητα να είναι χαμηλή, κατά τη διάρκεια ασθένειας, πίεσης ή υπό την επήρεια φαρμάκων. Ο τόνος των μυών είναι γενικά φτωχός, το δέρμα μοιάζει και φαίνεται διαφορετικό, συχνές μολύνσεις χαμηλού βαθμού θα είναι αισθητές και παροδικός προσοφθάλμιος φακός ή αδυναμία μπορεί να σημειωθούν. Αυτά τα πρόωρα συμπτώματα μπορεί να αναφερθούν και πρέπει να καταγραφούν.

## 2.3 ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ ΚΕΦΑΛΙ

### 2.3.1 Ειδικός ρυθμός απορρόφησης SAR ( SPECIFIC ABSORPTION RATE) από την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια

Ηλεκτρικά ρεύματα ραδιοσυχνότητας στην κεραία και στο περίβλημα ενός κινητού τηλεφώνου θα προκαλέσουν ηλεκτρικά πεδία RF στον ιστό. Ως αποτέλεσμα αυτού ένα μέρος της ακτινοβολούσας ενέργειας θα απορροφηθεί από τον ιστό προκαλώντας μια αύξηση της θερμοκρασίας του ιστού. Η απορρόφηση προκαλείται από την απώλεια δύναμης σχετικά με τη διηλεκτρική πόλωση. Οι δονήσεις των μορίων ύδατος, οι μετακινήσεις των ελεύθερων ιόντων και οι μετακινήσεις των συνδεδεμένων δαπανών που συνδέονται με τα μικρομόρια συμβάλλουν περισσότερο στη διηλεκτρική πόλωση και στο βιολογικό υλικό στις ραδιοσυχνότητες.

Η απώλεια δύναμης καθορίζεται από το SAR (ειδικός ρυθμός απορρόφησης) που καθορίζει τη δύναμη που απορροφάται ανά μάζα μονάδων. Το τοπικό SAR δίνεται από τον τύπο

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho}$$

όπου  $\sigma$  είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα και  $\rho$  η μαζική πυκνότητα. Η αξία RMS της ισχύος των ηλεκτρικών πεδίων στα σημεία X, Y, και Z. Το  $E$  καθορίζεται από

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2}$$

όπου το  $E_x$ ,  $E_y$  και  $E_z$  είναι οι τιμές RMS των τμημάτων X, Y, και Z του ηλεκτρικού πεδίου. Στην πράξη το SAR καθορίζεται πάντα ως η μέση αξία του πεπερασμένου όγκου του ιστού. Ο μέσος όρος των ολόκληρων σωμάτων,  $SAR_{wha}$  δίνει απλά τη δύναμη που απορροφάται σε ολόκληρο το ανθρώπινο σώμα και διαιρείται με τη μάζα του σώματος.

Μπορεί να φανεί από την εξίσωση (1) ότι το SAR συσχετίζεται άμεσα με την αγωγιμότητα του ιστού. Η αγωγιμότητα, αφ' ετέρου, αυξάνεται όταν αυξάνεται η περιεκτικότητα σε ύδωρ στον ιστό. Επομένως, η θερμοκρασία στους ιστούς μαζί με την περιεκτικότητα σε υψηλό ύδωρ όπως οι μυείς, το αίμα, το δέρμα και τα νεύρα αυξάνεται περισσότερο από τη θερμοκρασία στους ξηρότερους τύπους ιστού όπως το λίπος και το κόκαλο. Η αγωγιμότητα των πιο σημαντικών τύπων ιστού στις κινητές συχνότητες παρουσιάζονται στον πίνακα II.

Το SAR είναι η δοσομετρική μονάδα των βιολογικών επιδράσεων που συνδέονται με την αύξηση της θερμοκρασίας στον ιστό. Εντούτοις, επίσης η ισχύς των ηλεκτρικών πεδίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δοσομετρική μονάδα ιδιαίτερα όταν τα αποτελέσματα άλλου τύπου είναι ενδιαφερόμενα. Σύμφωνα με την εξίσωση (1), 1W/kg εναλλασσόμενου ρεύματος αφορά την ισχύ των ηλεκτρικών πεδίων κατά προσέγγιση 30V/m στις κινητές

τηλεφωνικές συχνότητες. Η αγωγιμότητα είναι περίπου 1S/m (πίνακας II) και πυκνότητα  $1.000\text{kg/m}^3$ , στην πυκνότητα του ύδατος στον ιστό, η οποία είναι μια καλή προσέγγιση για τον ιστό αποκλείοντας τον ιστό των κόκαλων όπου η πυκνότητα είναι αρκετά μεγαλύτερη.

Tissue type	Conductivity (S/m)			
	150 MHz	450 MHz	900 MHz	1,800 MHz
Muscle	0.73	0.81	0.94	1.3
Skin (wet)	0.56	0.69	0.85	1.2
Blood	1.2	1.4	1.5	2.0
Grey brain matter	0.60	0.76	0.94	1.4
White brain matter	0.35	0.46	0.59	0.92
Fat	0.07	0.083	0.11	0.19
Bone	0.070	0.096	0.14	0.28
Liver	0.53	0.68	0.86	1.3

**Πίνακας II.** Χαρακτηριστικές τιμές αγωγιμότητας ορισμένων τύπων ιστού στις διαφορετικές συχνότητες.

### 2.3.2 Καθοριστικό SAR

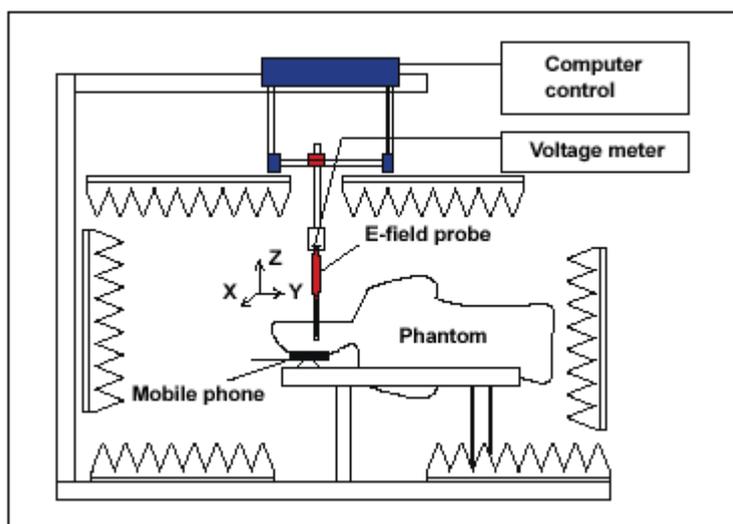
Το SAR που προκαλείται με το κινητό τηλέφωνο μπορεί να καθοριστεί ακριβώς μόνο άμεσα, μετρώντας ή υπολογίζοντας τον E-τομέα που προκαλείται στον ιστό ή στη συνοδευόμενη άνοδο της θερμοκρασίας. Δοσομετρικές αξιολογήσεις που είναι βασισμένες στον E -τομέα μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για απλές διαγνωστικές εξετάσεις για να απαλλάξουν μια χαμηλή συσκευή δύναμης από τις άμεσες δοκιμές SAR.

Η συνηθέστερα χρησιμοποιημένη μέθοδος για την ανάλυση SAR είναι ο πεπερασμένος χρόνος διαφοράς μέθοδος των περιοχών (FDTD) (Finite Difference Time Domain). Τα αριθμητικά πρότυπα που απαιτούνται στους υπολογισμούς FDTD προέρχονται συνήθως από τις εικόνες MRI (απεικόνιση μαγνητικής αντήχησης) (Magnetic Resonance Imaging ) ή από τους αριθμούς των ανατομικών διατομών. Η ανάλυση των προτύπων FDTD είναι 2 mm.

Φαντάσματα που μιμούνται την ανατομία και τις ηλεκτρικές ιδιότητες του ανθρώπινου εγκεφάλου και του ανώτερου κορμού χρησιμοποιούνται στις δοσομετρικές μετρήσεις. Το SAR είναι συνήθως καθορισμένο με τη μέτρηση του E-τομέα στον ιστό (εξίσωση 1). Εντούτοις, επίσης μια μέθοδος βασισμένη στη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι δυνατή, αλλά συνήθως αυτό περιορίζεται στις βαθμολογήσεις των ελέγχων SAR. Τα ετερογενή

φαντάσματα αποτελούνται από ημισταθερά υλικά εκτιμώντας ότι στα ομοιογενή φαντάσματα η υγρή λύση μπορεί να χρησιμοποιηθεί, figure 5. Τα φαντάσματα που αποτελούνται από το υγρό έχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα, επειδή επιτρέπουν την ελεύθερη κυκλοφορία για τον έλεγχο που μετρά την απορρόφηση. Στην περίπτωση των ετερογενή φαντασμάτων οι μετρήσεις πρέπει να εκτελεστούν σε σταθερές τρύπες που διαστρεβλώνουν τον E-τομέα. Οι θεωρητικές αναλύσεις δείχνουν ότι το μέγιστο SAR στα ομοιογενή φαντάσματα μπορεί να είναι ίσο ή 1,5 φορές υψηλότερο από το μέγιστο SAR στα ετερογενή φαντάσματα. Είναι πιθανό ότι στο τυποποιημένο SAR οι δοκιμές θα βασιστούν στις μετρήσεις που εκτελούνται με ομοιογενή υγρά φαντάσματα.

Εάν οι τιμές SAR πρόκειται να συγκριθούν με τα όρια έκθεσης που δίνονται στην ακτινοβολία τα πρότυπα ασφαλείας πρέπει να υπολογιστούν κατά μέσο όρο πέρα από μια κυβική μάζα 1 γραμμαρίου ( FCC 1996) ή 10 γραμμαρίων (CENELEC 1995,1997), το οποίο απαλύνει τις τιμές κορυφής. Σε ένα ομοιογενές φάντασμα, το δευτερεύον μήκος του κύβου είναι 1 και 2,2 εκατ., για τις μάζες 1 γ και 10 γ, αντίστοιχα. Ο ιστός πρέπει να γεμίσει τον κύβο, το οποίο σημαίνει ότι το κεντρικό σημείο του κύβου πρέπει να είναι τοποθετημένο τουλάχιστον σε μια απόσταση μισού δευτερεύων-μήκους από το δέρμα. Αυτήν την περίοδο, είναι ασαφές εάν οι λοβοί των αυτιών και οι κοιλότητες του κεφαλιού πρέπει να ληφθούν υπόψη. Δεν υπάρχει καμία τελική συμφωνία για τη μορφή του θα υπολογίζεται κατά μέσο όρο ο όγκος .



**Figure 5.** Το σύστημα μέτρησης SAR που αναπτύσσεται στο COST 244 πρόγραμμα. Οι τιμές SAR καθορίζονται με τη μέτρηση της δύναμης των ηλεκτρικών τομέων σε ένα ρεαλιστικά διαμορφωμένο ομοιογενές υγρό φάντασμα με μικρό, κινούμενο, ιστροπικό έλεγχο E-τομέων. Η μετακίνηση και ο έλεγχος γίνεται από έναν υπολογιστή.

### 2.3.3 Αποτελέσματα των δοσομετρικών μελετών

Η απορρόφηση δύναμης στο κεφάλι που προκαλείται από το κινητό τηλέφωνο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η απόσταση από την κεραία, η ακτινοβολούσα ισχύ και η συχνότητα είναι οι σημαντικότεροι. Επίσης ο τύπος της κεραίας, η μορφή και το υλικό του περιβλήματος, η ευθυγράμμιση του τηλεφώνου, η ανατομία του κεφαλιού και οι ηλεκτρικές ιδιότητες του ιστού παίζουν σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση. Επιπλέον, το κεφάλι επηρεάζει τις ιδιότητες ακτινοβολίας του τηλεφώνου με την αλλαγή στο σχέδιο σύνθετης αντίστασης και την ακτινοβολία των κεραιών.

Ο πίνακας II συνοψίζει τις χωρικές μέγιστες τιμές του SAR που έχουν μετρηθεί ή έχουν υπολογισθεί στα διαφορετικά εργαστήρια. Αυτές οι τιμές έχουν ομαλοποιηθεί στην ακτινοβολούσα δύναμη του 1 W. Από τη μορφή του περιβλήματος, τον τύπο της κεραίας, τη μέτρηση της θέσης και το φάντασμα, που ποικίλλουν στις διαφορετικές μελέτες, τα αποτελέσματα δεν είναι εξ' ολοκλήρου συγκρίσιμα. Οι παρουσιαζόμενες τιμές SAR είναι οι χωρικές τιμές κορυφής επιφάνειας του πειραματικού ή αριθμητικού φαντάσματος. Αυτές οι τιμές μπορεί να είναι ελαφρώς υψηλότερες από το SAR στην επιφάνεια του εγκεφάλου αλλά ελαφρώς χαμηλότερες από το SAR στο δέρμα.

Όπως μπορεί να φανεί στον πίνακα II, οι τιμές SAR που καθορίζονται από διαφορετικές ερευνητικές ομάδες ποικίλλουν αρκετά. Υπάρχουν πραγματικές διαφορές στα φορητά τηλέφωνα που χρησιμοποιούνται στις μελέτες αλλά η παραλλαγή προκαλείται επίσης από την αβεβαιότητα του προσδιορισμού των SAR μεθόδων, που δεν τυποποιούνται αρκετά. Οι δοκιμές σύγκρισης, στις οποίες τα διαφορετικά εργαστήρια καθορίζουν τις τιμές SAR σε μια ομοιογενές σφαίρα και σε έναν κύβο τοποθετημένα στον τομέα ενός απλού θερμαντικού σώματος (ένα δίπολο), έχουν γίνει στο πρόγραμμα COST 244. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δεν είναι ακόμα διαθέσιμα. Εντούτοις, στα προκαταρκτικά αποτελέσματα οι υπολογισμοί δείχνουν ότι η χωρική τιμή κορυφής του SAR σε 900MHz μπορεί να ποικίλει. Οι υπολογισμένες τιμές SAR είναι υψηλότερες στις πιο πρόσφατες μελέτες από ό,τι στο παρελθόν. Αυτό μπορεί να είναι αποτέλεσμα μιας βελτιωμένης ανάλυσης. Τα πιο αξιόπιστα αποτελέσματα υπολογισμού επιτυγχάνονται με τη χρησιμοποίηση της ανάλυσης στα 3mm.

Τουλάχιστον το 50% της δύναμης της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από κινητό τηλέφωνο μπορεί να απορροφάται από το κεφάλι του χρήστη και από το χέρι που κρατά το τηλέφωνο. Η απορρόφηση είναι μέγιστη στο χέρι, στο δέρμα του κεφαλιού, στον λοβό του αυτιού και στην επιφάνεια του εγκεφάλου (figure 1, figure 6). Ο ιστός των κόκαλων δεν απορροφά την ακτινοβολία, λόγω της χαμηλής αγωγιμότητάς του. Ο Kuster και ο Balzano (1992) έχουν δείξει ότι η μέγιστη απορρόφηση εμφανίζεται στο σημείο όπου το φορητό τηλέφωνο είναι πιο κοντά στο κεφάλι και η πυκνότητα του ρεύματος είναι στο μέγιστό της. Στο μέγιστο η απορρόφηση μπορεί να είναι συχνή, αλλά όχι πάντα, στο σημείο τροφών της κεραίας. Οι κεραίες, που είναι μικρές έναντι του μήκους κύματος, μπορούν να προκαλέσουν σημαντικά ρεύματα στην επιφάνεια του τηλεφωνικού περιβλήματος. Σε εκείνη την περίπτωση, το σημείο όπου η απορρόφηση είναι μέγιστη μπορεί να βρεθεί στη στενή εγγύτητα του τηλεφωνικού περιβλήματος. Στο άλλο χέρι, εάν το ηλεκτρικό μήκος της κεραίας είναι περισσότερο από  $\lambda/2$ , το τρέχον μέγιστο μπορεί να κινηθεί επάνω από το σημείο τροφών. Στις περισσότερες από τις

περιπτώσεις, το SAR είναι άμεσα ανάλογο  $1/d^2$  όπου το d είναι η απόσταση μεταξύ της κεραίας και του κεφαλιού και οι τιμές του p ποικίλλουν από 1,5 -2.

Ο Cleveland και ο Athey (1989) μέτρησαν την απορρόφηση που προκλήθηκε από ένα φορητό τηλέφωνο στο ετερογενές φάντασμα που αποτελούταν από τρία διαφορετικά υλικά και μιμούνταν τους ιστούς του εγκεφάλου, των μυών και των ματιών. Εξετάστηκαν δυο λειτουργίες αναλογικών τηλεφώνων σε 900 MHz. Η χωρική τιμή κορυφής του SAR, η οποία μετρήθηκε στην κανονική λειτουργική θέση του τηλεφώνου, ήταν 3,5W/kg που υπολογίστηκε κατά μέσο όρο και η μάζα περίπου 1 γ. Όταν η κεραία τοποθετήθηκε άμεσα μπροστά από το μάτι, το SAR ήταν 3,5W/kg στο μάτι.

Ο Anderson και ο Joyner (1995) χρησιμοποίησαν τον παρόμοιο τύπο φαντασμάτων όπως ο Cleveland και ο Athey. Τρία διαφορετικά τηλέφωνα μετρήθηκαν όταν λειτουργούσαν στη σειρά των 900MHz. Όταν τα τηλέφωνα ήταν στην κανονική λειτουργική θέση το μέγιστο SAR που μετρήθηκε στην επιφάνεια του εγκεφάλου ήταν 1,4W/kg και στο μάτι 0,35W/kg. Αυτές οι τιμές είναι κοντά στις υπολογισμένες κατά μέσο όρο τιμές της μάζας 1 γ. Επομένως, η απορρόφηση στο μάτι είναι σχετικά μικρή όταν το τηλέφωνο χρησιμοποιείται σε μια κανονική λειτουργική θέση.

Ο Dimbylow και ο Mann (1994) υπολόγισαν την απορρόφηση στο κεφάλι νηπίου σε 900 και 1.800MHz. Χρησιμοποιήθηκε ένα υψηλής ευκρίνειας (2 mm.) ανατομικό πρότυπο που έτεμνε στη βάση των εικόνων MRI. Οι μεγαλύτερες τιμές του SAR στην κανονική λειτουργία στη θέση αυτή ήταν 4,7W/kg (1 γ) και 3.1W/kg (10 γ) στα 900MHz. Οι αντίστοιχες τιμές σε 1.800MHz ήταν 6,7W/kg (1 γ) και 4.6W/kg (10 γ), οι οποίες δείχνουν την αύξηση της απορρόφησης στην επιφάνεια και τη μείωση του βάθους του δέρματος όταν η συχνότητα αυξάνεται. Μπορεί να φανεί με την εξέταση των γραφικών διανομών SAR δημοσιευμένες από τους συντάκτες, που υψηλότερες τιμές SAR από προηγούμενες έρευνες μπορεί να υπάρξουν σε έναν μικρό τομέα λίγων τετραγωνικών χιλιοστών. Οι τιμές SAR 14W/kg που υπολογίστηκαν στους λοβούς των αυτιών και 4 –8W/kg στην επιφάνεια του εγκεφάλου σε 900MHz. Η απορρόφηση στο μάτι ήταν πολύ μικρή όταν χρησιμοποιήθηκε η κανονική λειτουργική θέση. Εντούτοις, όταν τοποθετήθηκε άμεσα η κεραία μπροστά στο μάτι το μέσο SAR στο μάτι ήταν στην ίδια σειρά με το τυποποιημένο SAR (που υπολογίζει κατά μέσο όρο τις μάζες που ποικίλλουν από 1 έως 10 γ) στην κανονική λειτουργική θέση της μέτρησης SAR.

**Πίνακας II.** Τοπικές χωρικές μέγιστες τιμές SAR σε 900MHz που καθορίζονται για το ανάλογο φορητά τηλέφωνα στις διαφορετικές μελέτες. Η δύναμη ακτινοβολίας έχει ομαλοποιηθεί σε 1W.

Reference	SAR [W/kg] 1 g	SAR [W/kg] 10 g	Distance <sup>1)</sup> [cm]	Notes
Cleveland & Athey	3.5	-	1.0	Measured, $\lambda/2^{2)}$ , device 1
Cleveland & Athey	1.7	1.0	-	Measured, $\lambda/2$ , device 2
Dimbylow & Mann	4.7	3.1	1.4	Calculated, $\lambda/4$ ,
Anderson & Joyner	1.4	-	1.5	Measured, $\lambda/2$ , device 1
Anderson & Joyner	1.1	-	3.3	Measured, $\lambda/4$ , device 2
Anderson & Joyner	0.7	-	3.0	Measured, $\lambda/4$ , device 3
Meier et al.	4.0	2.7	-	Measured <sup>3)</sup>
Meier et al.	10	5.0	-	Measured <sup>4)</sup>
Hombach et al.	8.0	6.3	1.5	Calculated, $\lambda/2^{5)}$
Watanabe et al.	4.3	-	3.0	Calculated, $\lambda/4$
Watanabe et al.	2.0	-	3.0	Calculated, $\lambda/2$
Jensen et al.	2.0	-	2.0	Calculated, $\lambda/2$
Jensen et al.	1.3	-	2.0	Calculated, PIFA <sup>6)</sup>
Jensen et al.	3.8	-	2.0	Calculated, PIFA <sup>7)</sup>
Gandhi & Lazzi	4.8	-	$\approx 3.0$	Calculated, $\lambda/4$
Gandhi & Lazzi	2.7	-	$\approx 3.0$	Calculated, $3\lambda/8$
Balzano et al.	1.2	-	-	Measured <sup>8)</sup> , $\lambda/2$
Balzano et al.	2.1	-	-	Measured <sup>8)</sup> , helical antenna
Pitkäaho et al.	4.0	2.5	1.5	Calculated, $\lambda/4$ , vertical
Pitkäaho et al.	2.6	1.7	1.5	Calculated, $\lambda/4$ , horizontal

<sup>1)</sup> The distance between the antenna and the head (mostly measured from the antenna feed point).

<sup>2)</sup> The length of the antenna in wavelengths

<sup>3)</sup> The peak value in the normal operational position in the group of nine different handheld phones

<sup>4)</sup> The peak value in the worst possible position in the group of nine different handheld phones

<sup>5)</sup> A dipole antenna

<sup>6)</sup> Antenna on the backside of the phone

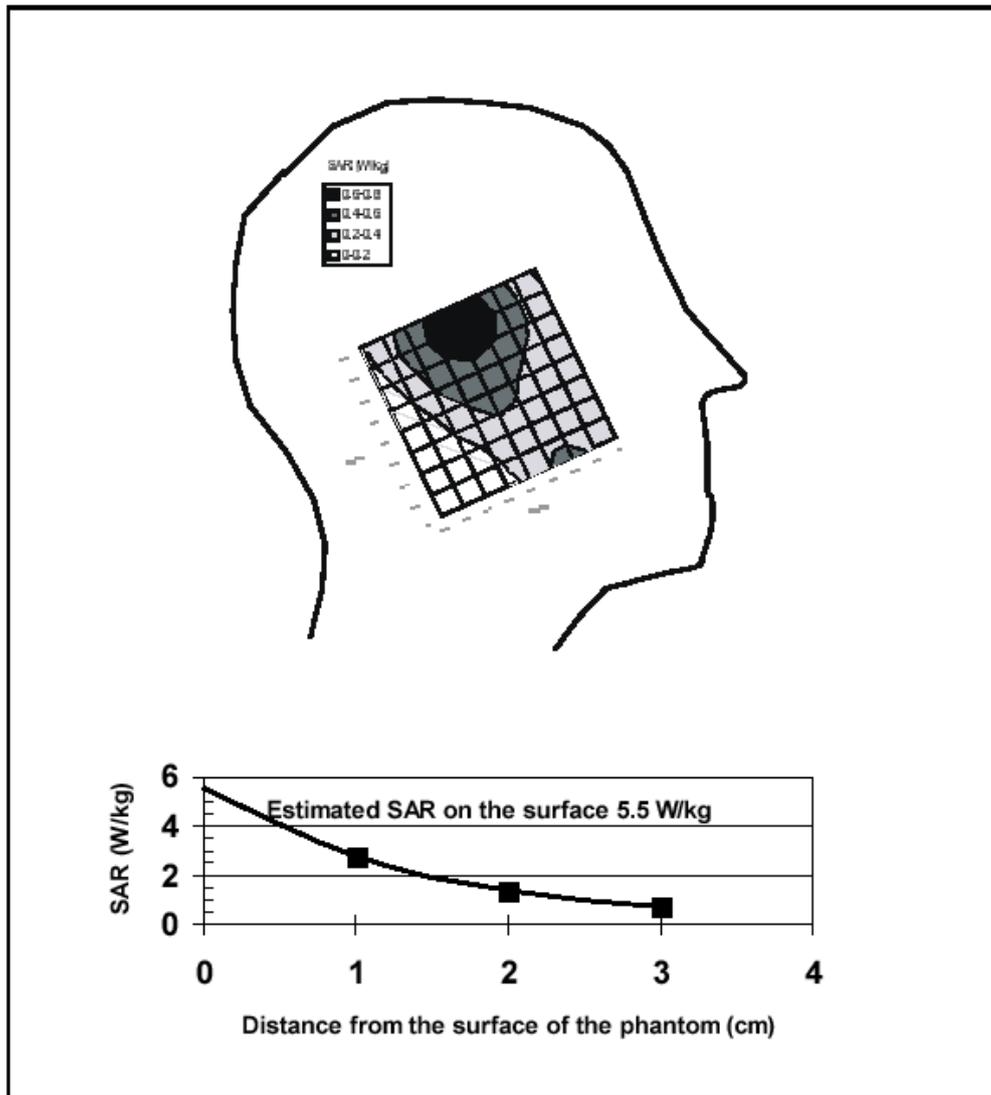
<sup>7)</sup> Antenna on the side of the phone

<sup>8)</sup> Average value measured for different types of analog handheld phones in different positions

**Figure 6.** Το συγκεκριμένο ποσοστό απορρόφησης που προκαλείται από NMT900 τηλεφωνικώς α) βάθος 3 εκατ. από στην εσωτερική επιφάνεια του φαντάσματος, β) στο μέγιστο σημείο όπου η λειτουργία της απόστασης από την εσωτερική επιφάνεια. Οι μετρήσεις ήταν διενεργηθείς με το σύστημα

μέτρησης

STUK



Ο Hombach (1996) εξέθεσε διάφορα πειραματικά και αριθμητικά φαντάσματα στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα οριζόντιο δίπολο ημικυμάτων 900MHz. Η υψηλότερη μέγιστη αξία SAR ήταν 8W/kg (1 γ) και 6.3W/kg (10 γ) στο πιο σύνθετο αριθμητικό φάντασμα. Εντούτοις, το χωρικό μέγιστο SAR ήταν 12W/kg στο δέρμα και στην επιφάνεια του εγκεφάλου όταν χρησιμοποιήθηκε ανάλυση λίγων χιλιοστών.

Ο Meier (1995) μέτρησε εννέα διαφορετικούς τύπους φορητών τηλεφώνων 900MHz στην κανονική λειτουργική θέση και σε μια χειρότερη θέση περίπτωσης που παρήγαγε το μέγιστο SAR. Ένα ομοιογενές υγρό φάντασμα χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές. Το τοπικό μέγιστο SAR της χειρότερης συσκευής ήταν 4W/kg (1 γ) και 2.7W/kg (10 γ) στην κανονική λειτουργική θέση οι τιμές παρουσίασαν σχεδόν διπλή αύξηση στη χειρότερη θέση περίπτωσης. Στην περίπτωση της καλύτερης συσκευής το 1 γ. SAR ήταν λιγότερο από 0,4W/kg στη κανονική λειτουργική θέση και λιγότερο από 1W/kg στη χειρότερη περίπτωση.

Ο Watanabe (1996) μελέτησε θεωρητικά τα αποτελέσματα της απόστασης, το μήκος της κεραίας από τα αυτιά και τα χέρια στην απορρόφηση των 900MHz και 1.500MHz. Στην RF η έκθεση των τηλεφώνων που έχουν μια κεραία ημικυμάτων ήταν περίπου μισό από αυτό των τηλεφώνων με μια τετάρτων-κυμάτων κεραία. Αυτή η μείωση είναι το αποτέλεσμα της τρέχουσας μέγιστης κίνησης πιο μακριά από το κεφάλι στην περίπτωση της κεραίας των ημικυμάτων. Προσθέτοντας τους λοβούς των αυτιών στο πρότυπο αυξάνεται η απορρόφηση κατά 20–60% ανάλογα με τον τύπο των κεραιών. Σε αυτήν την περίπτωση το μέγιστο SAR είναι περισσότερο συχνό στο λοβό του αυτιού. Το χέρι δεν έχει καμία σημαντική επίδραση στην απορρόφηση. Εντούτοις, οι μέγιστες τιμές SAR στο χέρι μπορεί να είναι υψηλότερες από τις τιμές στο κεφάλι όπως παρουσιάστηκε στη μελέτη του Okoniewski και Stuchly (1996). Στα 1.500MHz η αιχμή SAR στο κεφάλι είναι 2–3 φορές πάνω από 900 MHz.

Ο Gandhi και Lazzi (1996) χρησιμοποίησαν ένα υψηλής ευκρίνειας πρότυπο στη μελέτη, η απορρόφηση που προκαλείται με φορητό τηλέφωνο εξαρτάται από τη συχνότητα και τα χαρακτηριστικά του ανατομικού προτύπου. Το ομαλοποιημένο SAR σε 835MHz ποίκιλε από 2,7 έως 4,8W/kg όπως φαίνεται στον πίνακα II. Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν στις τιμές SAR σε 1.900MHz. Η επιφάνεια SAR (1 γ) ήταν 9W/kg για κεραία  $\lambda/4$  θορίου και 5,5W/kg για την κεραία  $3\lambda/8$  σε 1.900MHz. Η αιχμή της αξίας στον εγκέφαλο ήταν μόνο 20% της αξίας στο δέρμα στα 1.900MHz ενώ στη χαμηλότερη συχνότητα αυξήθηκε σε 40%. Όταν το μέγεθος του κρανίου μειώνεται, η ακτινοβολία διαπερνά βαθύτερα τον εγκέφαλο και η τοπική αιχμή του SAR αυξάνεται ελαφρώς. Η χωρική μέγιστη απορρόφηση στο κεφάλι του νηπίου ήταν 1,5 φορές περισσότερη από ότι στο κεφάλι του ενηλίκου.

Ο Balzano (1995) έχει μετρήσει έναν μεγάλο αριθμό φορητής τηλεφωνικής χρησιμοποίησης σε ένα ομοιογενές φάντασμα. Δύο μέσες τιμές των μετρήσεων παρουσιάζονται στον πίνακα II. Ο τηλεφωνικός τύπος που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις ήταν ένα αμερικανικό ανάλογο τηλέφωνο που μοιάζει με ένα τηλέφωνο NMT900. Η δύναμη παραγωγής του τηλεφώνου (0,6 W) έχει ξελεπιαστεί σε 1W στον πίνακα II προκειμένου να κατασταθεί η σύγκριση ευκολότερη. Σε εκτεταμένη θέση που η κεραία λειτουργεί ως θερμαντικό σώμα  $\lambda/2$  ως ελικοειδές θερμαντικό σώμα. Μπορεί να φανεί από τον πίνακα II ότι η έκθεση RF κοντά στην ελικοειδή κεραία είναι υψηλότερη από αυτή κοντά στην κεραία  $\lambda/2$ . Αυτό είναι ένα αποτέλεσμα της ισχύος μαγνητικών πεδίων που είναι σχετικά υψηλή στη στενή εγγύτητα από την ελικοειδή κεραία. Η έκθεση από τις ελικοειδής κεραίες ποίκιλε μεταξύ 1.5–3W/kg και η έκθεση από τις εκτεταμένες κεραίες μεταξύ 1–1,3W/kg. Είναι ενδιαφέρον να συγκριθούν τα τελευταία αποτελέσματα με την έκθεση παλαιότερου κινητού τηλεφωνικού τύπου (0,3–0,7W/kg) που υπολογίζεται στην ίδια μελέτη. Κεραίες των πρώτων κινητών τηλεφώνων βρέθηκαν αρκετά μακριά από το κεφάλι του χρήστη εν' σύγκριση με τις κεραίες των σύγχρονων τηλεφώνων λόγω του μεγαλύτερου περιβλήματος. Αυτό πρέπει να ληφθεί υπόψη στις επιδημιολογικές μελέτες.

Βάσει του πίνακα II και μετά από τα συμπεράσματα για τα κινητά τηλέφωνα στην έκθεση των 900MHz: Τα 10 γ υπολογίζονται κατά μέσο όρο για τη χωρική μέγιστη έκθεση των NMT900 τηλεφώνων που υπερβαίνουν συνήθως τα 2W/kg αλλά όχι τα 10W/kg. Εάν υπολογίζονταν κατά μέσο όρο οι μαζικές μειώσεις στις αυξήσεις του 1γ SAR από τον παράγοντα 1,5 αλλά πιο

πιθανό είναι ότι δεν θα υπερβεί τα 10W/kg στην κανονική θέση. Το τοπικό μέγιστο SAR μπορεί να είναι ακόμη 10W/kg μέχρι μερικά χιλιοστά από την επιφάνεια του εγκεφάλου. Από την ακτινοβολούσα δύναμη ο μέσος όρος των τηλεφώνων GSM είναι μόνο 25% της δύναμης που ακτινοβολείται από τα τηλέφωνα NMT, η μέγιστη αξία SAR που προκαλείται με τα τηλέφωνα GSM είναι επίσης μικρότερη από 2W/kg στις περισσότερες περιπτώσεις. Υπάρχει μια ιδιαίτερη εξάρτηση διαφοράς στον τύπο κεραιών. Μερικές από τις νέες κεραιές PIFA φαίνεται να προκαλούν χαμηλότερες τιμές SAR από  $\lambda/2$  –  $\lambda/4$  κεραιές.

Το τοπικό μέγιστο SAR στα 1.800MHz μπορεί να είναι μέχρι δύο φορές υψηλότερο από το SAR στα 900MHz, εάν η ακτινοβολούσα δύναμη είναι η ίδια.

Αυτό σημαίνει ότι σε έναν μικρό όγκο λίγων κυβικών χιλιοστών οι συσκευές GSM1800 μπορεί να προκαλέσουν τις μέγιστες τιμές SAR που είναι ίσες με εκείνες των συσκευών GSM900 από τη μικρότερη δύναμη παραγωγής, δείτε τον πίνακα I. Εντούτοις, στις υψηλότερες συχνότητες υπάρχει εξασθένιση η οποία μειώνει τις υπολογισμένες κατά μέσο όρο τιμές SAR. Σύμφωνα με τις μετρήσεις (Kuster και Balzano 1996), το SAR στα GSM1800 είναι μέγιστο μόνο σε 1W/kg για 10 γ που υπολογίζουν κατά μέσο όρο και 2W/kg για 1 γ υπολογισμού μέσου όρου.

Δεν υπάρχει κανένα στοιχείο δοκιμής SAR διαθέσιμο στα φορητά τηλέφωνα NMT450 μέχρι τώρα. Εντούτοις, λόγω της χαμηλότερης απορρόφησης της επιφάνειας, είναι ιδιαίτερα πιθανό ότι οι τιμές SAR είναι μικρότερες από τις τιμές των τηλεφώνων NMT900. Από την άλλη πλευρά, η απορρόφηση στα εσωτερικά μέρη του εγκεφάλου αυξάνεται επειδή το βάθος του δέρματος αυξάνεται στις χαμηλότερες συχνότητες.

Η έκθεση RF από τα φορητά τηλέφωνα είναι απίθανο να αυξηθεί στο μέλλον, επειδή οι κατασκευαστές, οι οποίοι πιέζονται από τα πρότυπα ασφαλείας και από την ζήτηση της αγοράς, προσπαθούν να σχεδιάζουν τις κεραιές και τα τηλεφωνικά περιβλήματα με έναν τέτοιο τρόπο ώστε τα όρια έκθεσης να μην ξεπεραστούν. Ο στόχος του σχεδίου, στην ανάπτυξη των νέων δομών κεραιών, όπως οι κεραιές PIFA, πρόκειται να μειώσουν τη δύναμη που απορροφάται στο κεφάλι. Αυτό είναι επίσης τεχνικά συμφέρον για την αύξηση της ακτινοβολούσας δύναμης. Επίσης, μια μικρότερη δύναμη παραγωγής θα χρησιμοποιηθεί στα φορητά τηλέφωνα καθώς ο αριθμός των σταθμών βάσεων αυξάνεται. Μερικά από τα φορητά τηλέφωνα που θα χρησιμοποιηθούν στα μελλοντικά δορυφορικά συστήματα επικοινωνίας μπορεί να έχουν μια ελαφρώς υψηλότερη δύναμη παραγωγής από τα υπάρχοντα κινητά τηλέφωνα. Εντούτοις, με το κατάλληλο σχέδιο κεραιών η πρόσθετη δύναμη μπορεί να ακτινοβολείται προς τον ουρανό χωρίς αύξηση της έκθεσης του χρήστη.

### 3.1 ΒΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

Πριν προχωρήσουμε σε αναλυτική εξέταση των βιολογικών επιδράσεων, είναι ιδιαίτερα σημαντικό να διευκρινιστεί ότι οι επιδράσεις αυτές και οι μεταβολές που προκαλούν δεν συνεπάγονται απαραίτητα και προβλήματα υγείας. Μάλιστα, πολλές βιολογικές επιδράσεις από το περιβάλλον θεωρούνται φυσιολογικά φαινόμενα, αρκεί να σκεφτεί κανείς ότι τα ραβδία και κωνία του αμφιβληστροειδούς υπόκεινται σε βιολογικές αλλαγές εξαιτίας της επίδρασης του φωτός (ένα είδος δηλαδή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας).

Οι βιολογικές επιδράσεις της ακτινοβολίας RF μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τις θερμικές και τις μη θερμικές επιδράσεις. Οι πρώτες βασίζονται στην αύξηση της θερμοκρασίας που προκαλεί η προσπίπτουσα ακτινοβολία στους ιστούς, ενώ οι δεύτερες προκαλούνται με όλους τους υπόλοιπους εκτός από τη μεταφορά θερμότητας μηχανισμούς.

Είναι γνωστό ότι ραδιοκύματα όπως και τα μικροκύματα, έχουν ως κύρια επίδραση την παραγωγή θερμότητας. Εκεί άλλωστε βασιζόμαστε κάθε φορά που ανάβουμε τον φούρνο μικροκυμάτων. Οι ραδιοσυχνότητες λοιπόν θα έπρεπε να μας είχαν 'ψήσει' το κεφάλι. Αυτό ευτυχώς δεν συμβαίνει γιατί τα ΚΤ λειτουργούν σε τόσο χαμηλή ισχύ, που δεν παρατηρούνται θερμικά φαινόμενα. Άλλωστε, η Διεθνής Επιτροπή Προστασίας από Μη Ιοντίζουσες Ακτινοβολίες (ICNIRP) έχει καθορίσει όρια με μεγάλο περιθώριο ασφάλειας, έτσι ώστε να μην παρατηρούνται επιβλαβείς αυξήσεις της θερμοκρασίας του σώματος. Όμως μια αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από ένα βαθμό Κελσίου θεωρείται επιβλαβής. Η παράμετρος που χρησιμοποιείται για να μετρηθεί έμμεσα η αύξηση της θερμοκρασίας όπως αναφέραμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο είναι ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης SAR ένας δείκτης της ποσότητας ακτινοβολίας που απορροφάται από το σώμα. Όπως προαναφέρθηκε, οι ακτινοβολίες των ΚΤ προκαλούν και τις λεγόμενες μη θερμικές επιδράσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι μέχρι στιγμής αυτές δεν είναι απόλυτα κατανοητές και πλήρως αποδεδειγμένες. Όλοι μας έχουμε παρατηρήσει ότι όταν χτυπά το ΚΤ, άλλες ηλεκτρικές συσκευές, όπως η τηλεόραση ή το ραδιόφωνο, εμφανίζουν προσωρινές 'διαταραχές', που αποδίδουμε στην παρεμβολή των συχνοτήτων. Να υπενθυμίσουμε επίσης ότι το ανθρώπινο σώμα είναι ένας εξαιρετικά ευαίσθητος ηλεκτροχημικός μηχανισμός, του οποίου ο έλεγχος και η λειτουργία ρυθμίζονται από συγκεκριμένες και διακριτές συχνότητες ηλεκτρικού ρεύματος. Κάποιες από αυτές βρίσκονται πολύ κοντά στις συχνότητες που παράγουν τα ΚΤ. Επομένως, είναι πιθανό ότι οι συχνότητες των ΚΤ μπορούν να παρεμβληθούν με τα ηλεκτρικά σήματα του ανθρώπινου σώματος με τον ίδιο τρόπο που παρεμβάλλονται π.χ. στη λήψη του ραδιοφώνου.

Έτσι, η πιθανότητα των μη θερμικών επιδράσεων ξεκινά από την 'ομοιότητα ταλάντωσης' μεταξύ του οργανισμού και της ακτινοβολίας, γεγονός που αναγκάζει τον οργανισμό να απαντά σε συχνότητες που αναγνωρίζει. Η απαραίτητη ένταση μιας τέτοιας ακτινοβολίας είναι υπό πλάσια αυτής που απαιτείται για τις θερμικές επιδράσεις και μπορεί να θεωρηθεί ως μη στοχαστική, με την έννοια ότι οι μη θερμικές επιδράσεις είναι μη γραμμικές. Με άλλα λόγια, ένα μικρής έντασης πεδίο μπορεί μερικές φορές να προκαλέσει μια δυσανάλογα μεγάλη απάντηση και επομένως η

επίδραση ίσης δόσης ακτινοβολίας δεν έχει πάντα ίδιο αποτέλεσμα σε όλους τους εκτιθέμενους. Ένα καλό παράδειγμα της ευαισθησίας σε μη θερμική ηλεκτρομαγνητική επίδραση είναι η δυνατότητα προκλήσεως επιληπτικών κρίσεων σε άτομα με φωτοευαίσθητική επιληψία, με τη χρήση διακοπτόμενου φωτός συχνότητας 15Hz . Οι κρίσεις δεν προκαλούνται από τη ενέργεια της φωτεινής δέσμης, αλλά από την συχνότητα την οποία ο εγκέφαλος αναγνωρίζει, γιατί αυτή συμπίπτει ή είναι παραπλήσια με αντίστοιχη συχνότητα που χρησιμοποιεί ο ίδιος .

Πάντως τα κινητά τηλέφωνα είναι ικανά να προκαλέσουν παρεμβολές σε ιατρικές ηλεκτρονικές συσκευές, όπως για παράδειγμα σε ορισμένου είδους βηματοδότες. Επίσης, έχουν αναφερθεί και επιδράσεις σε νευρολογικό επίπεδο, όπως αλλοίωση του ηλεκτροεγκεφαλογράφηματος σε δερματολογικό επίπεδο, όπως επιδείνωση ορισμένων δερματίτιδων , ατοπικού εκζέματος κτλ. Έχει βεβαίως αποδειχθεί ότι πολλές από τις δερματολογικές αλλοιώσεις που έχουν παρατηρηθεί σε χρήστες ΚΤ, δεν οφείλονται στην ακτινοβολία αλλά σε ευαισθησία σε ορισμένα υλικά κατασκευής των ΚΤ.

### 3.2 Η ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΑ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ

Μια τοπική άνοδος στη θερμοκρασία της ακτινοβολίας RF μπορεί να υπολογιστεί με τη χρησιμοποίηση της γνωστής εξίσωση της βίο-θερμότητας Pennes (Bowman 1982). Η εξίσωση για τον ιστό του εγκεφάλου μπορεί να παρουσιαστεί με απλή μορφή ως εξής:

$$\frac{dT'}{dt} = \frac{SAR}{c} - \lambda_T \quad (3)$$

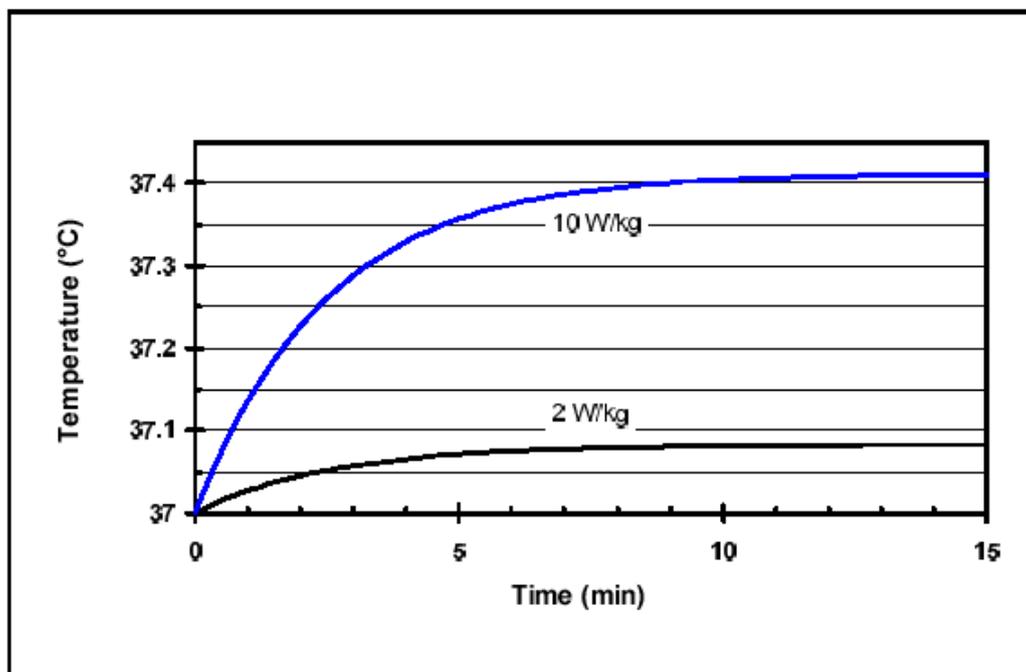
όπου το  $T'$  είναι η άνοδος της θερμοκρασίας , το  $t$  είναι ο χρόνος, το SAR είναι ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης ( περίπου 10 γ ιστού μάζας ), το  $c$  είναι η συγκεκριμένη θερμότητα στον ιστό του εγκεφάλου (3,64 kJ/kl °C) και  $\lambda$  είναι η αποτελεσματική σταθερή αντιπροσώπευση του ποσοστού της θερμότητας και της τοπικής ικανότητας της ψύξης του ιστού. Με μια άνοδο της θερμοκρασίας λιγότερο από 3°C, το  $\lambda$  υποτίθεται ότι παραμένει σταθερό, το οποίο επιτρέπει την ακόλουθη αναλυτική λύση για την εξίσωση (3):

$$T' = \frac{SAR}{\lambda c} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (4)$$

Βάσει των πειραμάτων της υποθερμίας που γίνονται στα σκυλιά (Samulski ) καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η σταθερά ποσοστού θερμότητας που απορροφάται στον εγκέφαλο είναι περίπου 0,4 l/min, δηλ. ο εκθετικός θερμικός χρόνος της σταθεράς (1/λ) είναι περίπου 2,5 λεπτά.

Η παραγωγή της εξίσωσης (3) είναι βασισμένη στην υπόθεση ότι το τοπικό καυτό σημείο είναι αρκετά μεγάλο, να επιτρέψει χρόνο στο αίμα για να φτάσει η θερμοκρασία στον ιστό . Το θερμικό πρότυπο βασισμένο στην εξίσωση (4) είναι μια προσέγγιση που, εντούτοις, είναι εύλογα ακριβής υπό τον όρο ότι η ψύξη λόγω της μεταφοράς του αίματος είναι τουλάχιστον τόσο αποτελεσματική όπως η ψύξη λόγω της θερμικής διεξαγωγής.

Η figure 7 παρουσιάζει την άνοδο της θερμοκρασίας σε επίπεδα SAR 2W/kg και 10W/kg, όπως υπολογίζεται στην εξίσωση (4). Το πρώτο είναι το όριο SAR που εφαρμόζεται από το κοινό και το τελευταίο εφαρμόζεται στους επαγγελματικά εκτεθειμένους ανθρώπους στις ελεγχόμενες συνθήκες εργασίας. Στην πράξη, το υψηλότερο πιθανό τοπικό SAR για ένα τηλέφωνο NMT με μια συχνότητα 900MHz και με ακτινοβολούσα ισχύ 1 W είναι λιγότερο από 5 W/kg.



**Figure 7.** Υπολογισμένη άνοδος της θερμοκρασίας του εγκεφάλου που προκαλείται από την ακτινοβολία RF.

Η μέγιστη άνοδος της θερμοκρασίας όπως υπολογίζεται με αυτό το πρότυπο είναι περίπου 0.4°C όταν το τοπικό SAR είναι 10 W/kg και το λ είναι 0,4 l/min. Η NRPB έκθεση (1993) παρουσιάζει παρόμοια συμπεράσματα: η θερμοκρασία από το τοπικό καυτό σημείο του εγκεφάλου παρουσιάζει άνοδος μέχρι 0.6°C εάν το SAR είναι 10 W/kg. Περίπου μέσα σε έξι λεπτά η θερμοκρασία θα φθάσει το 90% της μέγιστης αξίας. Μέχρι 40°C η μέγιστη άνοδος θερμοκρασίας είναι γραμμικά ανάλογη στο SAR. Στις υψηλότερες θερμοκρασίες το πρότυπο γίνεται μη γραμμικό και η θερμική μεταφορά θα γίνει αρχικά αποδοτικότερη καθώς τα αγγεία διαστέλλονται, αλλά μπορεί αργότερα να γίνει πιο αδύναμη εάν η άνοδος της θερμοκρασίας προκαλεί ζημία στα αγγεία αίματος. Όταν το SAR είναι 50 W/kg, μια άνοδος θερμοκρασίας τριών βαθμών είναι δυνατή, η οποία πιθανώς δεν προκαλεί οποιαδήποτε θερμική ζημία. Τοπική διαστολή των αγγείων αίματος θα αποτρέψει οποιαδήποτε επικίνδυνη θέρμανση. Η ζημία των κυττάρων είναι δυνατή εάν η έκθεση φθάσει τα 100 W/kg. Υποθέτοντας ότι το υψηλότερο πιθανό SAR στον εγκέφαλο προκαλούμενο από 1 τηλέφωνο W NMT900 είναι 5 W/kg ως μέσος όρος 10 γ, η μέγιστη άνοδος στη θερμοκρασία του εγκεφάλου θα είναι 0,2–0.3°C.

Δεδομένου ότι ο φακός του ματιού δεν περιέχει κανένα αγγείο αίματος με την επίδραση της ψύξης, είναι κάπως πιο ευαίσθητος στη θερμότητα από

άλλους ιστούς. Εκτός αυτού, ο φακός δεν έχει καμία ικανότητα να αντικαταστήσει τα χαλασμένα κύτταρα, και ακόμη και η μικρότερη ζημιά στο φακό μπορεί να συσσωρευτεί μακροπρόθεσμα. Η θερμική διεξαγωγή ως δροσίζοντας μηχανισμός είναι σημαντικότερη για το μάτι από ότι για έναν ιστό που περιέχει αίμα. Όταν υπολογίζεται με ένα αριθμητικό πρότυπο (Scott 1988) που προβλέπει ακριβώς τη θερμική διεξαγωγή, η μέγιστη άνοδος της θερμοκρασίας των ματιών είναι 1°C όταν ο μέσος όρος SAR στο μάτι είναι 10 W/kg (Anderson και Joyner 1995).

### 3.3 ΤΙ ΛΕΝΕ ΟΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΕΣ

Υπό ορισμένες συνθήκες και με ορισμένους τρόπους χρήσης, μπορούν να υπάρξουν προβλήματα με την πολύωρη χρήση των κινητών τηλεφώνων. Βεβαίως, οι πάρα πολλές περιπτώσεις σοβαρών πονοκεφάλων, πόνων στα αυτιά, ξηροφθαλμία δείχνουν πως γνωστοποιείται ότι μπορεί να υπάρξουν αποτελέσματα που παύουν, όταν η χρήση μειώνεται. Η μακροπρόθεσμη σημασία, δηλ. τα χρόνια προβλήματα βαριάς χρήσης, δεν είναι ακόμα γνωστά. Αλλά πρέπει να σημειωθεί, όπως αναφέρεται από τον Barry Fox, τον κορυφαίο επιστημονικό δημοσιογράφο στη σύγχρονη ηλεκτρονική ακτινοβολία, τέσσερα από τα κύρια κινητά τηλέφωνα που οι κατασκευαστές έχουν κατοχυρώσει με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας πρόσφατα. Η Hitachi στην Ιαπωνία έχει κατοχυρώσει ένα κινητό τηλέφωνο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας με κεραία στη βάση, αντί στην κορυφή, "για να αποτρέψει την υγεία του χρήστη από εξασθένηση". Επίσης, η Mitsubishi έχει το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που αναφέρεται σε ένα ασύρματο τηλέφωνο με απορροφητή και ανακλαστήρα, "για να μειώσει την επίδραση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κεφάλι του χρήστη". Η Ericsson έχει κεραία για να αυξήσει την απόσταση από το κεφάλι και επίσης στοιχείο κυκλώματος για να κρατήσει τη μετάδοση της δύναμης κάτω από ασφαλή επίπεδα. Η Phillips στην Ολλανδία προτείνει τη χρήση μιας δεύτερης κεραίας παράλληλη στην κύρια κεραία, που απομακρύνει τα κύματα από το κεφάλι του χρήστη.

### 3.4 ΤΑ ΚΙΝΗΤΑ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΒΛΑΨΟΥΝ ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΕΓΚΕΦΑΛΟΥ

Τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να προξενήσουν ζημιά στην υγεία μέσω της επιτάχυνσης του χρόνου που αποκρίνεται ο εγκέφαλος, είπε ένας Βρετανός επιστήμονας σε μια συνέντευξη του.

Καθώς οι καταναλωτές ανησυχούν λόγω του ότι η παρατεταμένη τηλεφωνική χρήση των κινητών, θα μπορούσε να οδηγήσει σε προβλήματα που κυμαίνονται από τους πονοκέφαλους έως τους όγκους, μια πρόσφατη μελέτη εμφανίζει ανησυχητικό ποσοστό καρκίνου του εγκεφάλου σε μερικούς χρήστες της κινητής, που βοηθά την ταλαντευόμενη επιστημονική άποψη στη Μεγάλη Βρετανία.

Ο Δρ. Alan Preece, προϊστάμενος της βιοφυσικής στο κέντρο ογκολογίας του Bristol, είναι μεταξύ μιας ομάδας επιστημόνων, που όλο ένα και περισσότερο πείθονται ότι η ακτινοβολία από τα κινητά, προκαλεί χημικές διαδικασίες στο σώμα που μπορεί να είναι επιβλαβείς.

Έξι χωριστές μελέτες τώρα δείχνουν ότι οι χρόνοι απόκρισης επιταχύνονται όταν εκτίθενται οι άνθρωποι στα σήματα της ραδιοσυχνότητας από τα κινητά τηλέφωνα.

"Ίσως πρέπει τώρα να αποδεχθούμε ότι υπάρχει μια επίδραση στον εγκέφαλο," είπε ο Preece, σε μια διάσκεψη του Λονδίνου για τους κινδύνους της υγείας λόγω των κινητών τηλεφώνων.

"Ο χρόνος απόκρισης έχει βελτιωθεί λόγω των πρωτεϊνών που δημιουργεί το stress, οι οποίες εκδηλώνονται λόγω ενός γονιδίου. Αυτό το φαινόμενο χρειάζεται περαιτέρω έρευνα. Η χρόνια έκθεση σε σήματα ραδιοσυχνότητας μπορεί να έχει μια καταστρεπτική επίδραση στην υγεία."

Η πρωτεΐνη του stress παράγεται όταν η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται, αλλά ο Preece και άλλοι επιστήμονες, λένε πως αυτές μπορούν επίσης να εμφανιστούν ξεκάθαρα, ως ένα αποτέλεσμα των ραδιοσυχνότητων, παρόλο που η θερμοκρασία του σώματος είναι κανονική. Άλλη έρευνα από τη Σουηδία και την Ελβετία έχει δείξει ότι η ακτινοβολία από τα κινητά τηλεφωνήματα ενοχλεί τον ύπνο.

### 3.5 ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΤΟ ΜΑΤΙ

Η έκθεση RF στο μάτι που δημιουργείται με τα συνηθισμένα κινητά τηλέφωνα είναι πολύ μικρότερη από την έκθεση στην επιφάνεια του εγκεφάλου κοντά στο αυτί. Εάν η συσκευή είναι κρατημένη μπροστά από το μάτι, όπως είναι συχνά η περίπτωση με τα επαγγελματικά ραδιοτηλέφωνα, το SAR στο μάτι μπορεί να είναι σημαντικό. Εάν η έκθεση είναι αρκετά υψηλή μπορεί να προκαλέσει μια σημαντική άνοδο της θερμοκρασίας στο φακό του ματιού, ο φακός μπορεί να γίνει μη διαφανής, με συνέπεια καταρράκτη. Οι δοκιμές έχουν δείξει ότι τα κατώτατα όρια για το τοπικό SAR που προκαλούν τον καταρράκτη είναι επάνω από 100 W/kg για την ακτινοβολία CW. Η μονάδα για την παλλόμενη ακτινοβολία μπορεί να είναι χαμηλότερη. Στις δοκιμές που πραγματοποιούνται *in vitro* σε μια κανονική, σταθερή θερμοκρασία, ο χρόνος υπολογισμένος κατά μέσο όρο SAR 10 W/kg ήταν αρκετός για να βλάψει το φακό ενός αρουραίου που εκτέθηκε στην ακτινοβολία αυτή, ο σφυγμός είχε διάρκεια 20  $\mu$ s και η έκθεση διάρκεσε μια ώρα (Stewart- DeHaan et Al 1985).

Προσωρινή ζημία ανιχνεύθηκε και σε άλλα μέρη του ματιού μετά την έκθεση σε επίπεδα όπως τα προαναφερθέντα. Πρόσφατες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν από την ομάδα του Kues (1985,1992) στους πιθήκους, των οποίων τα μάτια είναι παρόμοια με των ανθρώπων, προκάλεσαν έντονες συζητήσεις. Οι πίθηκοι, που αναισθητοποιήθηκαν, εκτέθηκαν στην ακτινοβολία των 2,45 GHz της CW ή της παλλόμενης μορφής. Η διάρκεια σφυγμού ήταν 10  $\mu$ s και η συχνότητα 100Hz. Κάθε περίοδος έκθεσης διάρκεσε τέσσερις ώρες. Η ακτινοβολία οδήγησε σε ατέλειες στο στρώμα των κυττάρων (endothelium) στην εσωτερική επιφάνεια του κερατοειδούς χιτώνα. Οι ατέλειες ήταν πιο εμφανέστερες 24 ώρες μετά από την έκθεση.

Μετά από τέσσερις ημέρες περίπου οι ατέλειες δεν ήταν πλέον ορατές. Με ακτινοβολία CW και μια ενιαία έκθεση, τα κατώτατα όρια πυκνότητας ισχύος για να προκληθεί ζημιά ήταν  $300 \text{ W/m}^2$ , αντίστοιχα σε μια κατά προσέγγιση αξία SAR  $7.8 \text{ W/kg}$  στο μάτι. Η εβδομαδιαία επανάληψη της έκθεσης δεν χαμήλωσε το κατώτατο όριο. Εντούτοις, όταν επαναλήφθηκε η έκθεση τέσσερις διαδοχικές ημέρες, το κατώτατο όριο έκθεσης μειώθηκε στα  $200 \text{ W/m}^2$  και  $5,2 \text{ W/kg}$ . Αυτού του είδους η έκθεση αυξάνει την θερμοκρασία στον προηγούμενο θάλαμο του ματιού κατά  $0.77^\circ\text{C}$ .

Με την παλλόμενη ακτινοβολία, το κατώτατο όριο πυκνότητας ισχύος ήταν χαμηλότερο. Μια σαφής απάντηση ανιχνεύθηκε μετά από μια τετράωρη έκθεση στην παλλόμενη ακτινοβολία με έναν μέσο όρο πυκνότητα ισχύος  $100 \text{ W/m}^2$  και αντίστοιχο τοπικό SAR στα μάτια σε  $2,6 \text{ W/kg}$ . Η ενεργειακή πυκνότητα ενός ενιαίου σφυγμού ήταν έπειτα  $1 \text{ J/m}^2$  και συγκεκριμένη απορρόφηση (SA)  $26 \text{ mJ/kg}$ . Η απάντηση ήταν ιδιαίτερα σαφής όταν η έκθεση επαναλήφθηκε τέσσερις διαδοχικές ημέρες.

Η ίδια πειραματική εργασία χρησιμοποιήθηκε επίσης για να δείξει ότι η παλλόμενη ακτινοβολία μπορεί να επηρεάσει τη διαπερατότητα των αγγείων αίματος στην ίριδα. Ουσίες δεικτών φθορισμού που διαρρέουν στον προηγούμενο θάλαμο, καταδεικνύουν αυξανόμενη διαπερατότητα από τα αγγεία αίματος. Για μια τετράωρη έκθεση επαναλαμβανόμενη τρεις διαδοχικές ημέρες, αυτή η επίδραση ήταν εμφανής όταν φθάσει σε μια αξία κατώτατων ορίων για τη μέση πυκνότητα ισχύος στα  $100 \text{ W/m}^2$  ( $2,6 \text{ W/kg}$ ). Η ζημιά θα μπορούσε να ανιχνευθεί αμέσως μετά από την έκθεση, αλλά μια εβδομάδα αργότερα αυτό δεν ήταν πλέον ευδιάκριτο.

Όταν η παλλόμενη ακτινοβολία συνδυάστηκε με θεραπευτικές δόσεις timolol ή pilocarpine, δύο φάρμακα που χρησιμοποιούνται για τη θεραπεία του γλαυκώματος, (δηλ. ζημιά κερατοειδούς endothelium και διαρροή μέσω του τοίχου των αγγείων αίματος της ίριδας) τα κατώτατα όρια πέφτουν. Όταν η ακτινοβολία συνδυάστηκε με timolol, τα κατώτατα όρια μειώθηκαν σε  $10 \text{ W/m}^2$  ή σε  $0,26 \text{ W/Kg}$ .

Μια άλλη ερευνητική ομάδα (Kamimura et Al 1994) προσπάθησε να επαναλάβει το πείραμα με την ακτινοβολία CW και μελέτησε τα αποτελέσματα του κερατοειδούς χιτώνα. Στο πείραμά τους, οι πίθηκοι ήταν ξύπνιοι, σύμφωνα με το οποίο υπολογίζεται καλύτερα το πραγματικό όριο έκθεσης. Η έκθεση διάρκεσε για τέσσερις ώρες αλλά δεν επαναλήφθηκε για διαδοχικές ημέρες. Το πιο υψηλό επίπεδο έκθεσης που εφαρμόστηκε ήταν  $430 \text{ W/m}^2$ , αντίστοιχα στα  $11 \text{ W/kg}$  στο μάτι. Καμία ζημιά δεν ανιχνεύθηκε.

Αυτό το αρνητικό αποτέλεσμα έχει αναφερθεί ως απόδειξη της αναξιοπιστίας των αποτελεσμάτων του Kues. Εντούτοις, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ο Kues έλαβε ένα κατώτατο όριο  $7,8 \text{ W/kg}$  με μια παρόμοια πειραματική εργασία (ενιαία έκθεση στη CW ακτινοβολία). Με άλλα λόγια, η διαφορά δεν είναι πολύ μεγάλη και μπορούσε να εξηγηθεί καλύτερα από το γεγονός ότι στο πείραμα Kamimura οι πίθηκοι ήταν ξύπνιοι και επιπλέον μπορεί να οδηγούσε σε ψύξη λόγω των ανοικτών ματιών ή των ματιών ανοιγοκλείνανε.

Η ομάδα του Kues έχει μελετήσει επίσης τα αποτελέσματα της παλλόμενης ακτινοβολίας μικροκυμάτων στον αμφιβληστροειδή χιτώνα του πίθηκου. Εντούτοις, τα προκαταρκτικά αποτελέσματα που αναφέρονται ως περιλήψεις διασκέψεων δεν έχουν ακόμα δημοσιευθεί στα επιστημονικά περιοδικά (Kues et Al 1990 και 1991). Με επίπεδο SAR  $3,5\text{--}4,0 \text{ W/kg}$ , μια

τετράωρη έκθεση επαναλαμβανόμενη επτά φορές οδήγησε σε αλλαγές στη συχνότητα, στη διάρκεια σφυγμού, στη συχνότητα σφυγμού και όταν το SAR ήταν 1,25 GHz, 0,5 μs, 16Hz και 250 mJ/kl, αντίστοιχα. Μια εβδομάδα μετά από την έκθεση οι αλλαγές δεν ήταν πλέον ευδιάκριτες. Αν και οι προκαταρκτικές πληροφορίες σχετικά με άλλα αποτελέσματα στον αμφιβληστροειδή σε χαμηλότερη έκθεση, που παρουσιάστηκαν στην ετήσια συνεδρίαση της Βιοηλεκτρομαγνητικής Κοινωνίας, δεν έχουν δημοσιευθεί ακόμα στα επιστημονικά περιοδικά .

Από τις αλλαγές που ανιχνεύονται στο μάτι που έχουν γίνει σε μικρό χρόνο, είναι πιθανόν να μην δείξουν οποιαδήποτε σημαντική επίπτωση στην υγεία, εκτός αν η έκθεση είναι εξαιρετικά μακράς διάρκειας και συχνή . Εντούτοις, τα κατώτατα όρια των αποτελεσμάτων της παλλόμενη ακτινοβολίας , όταν συνδυάζονται με το φάρμακο για το γλαύκωμα, είναι εντυπωσιακά χαμηλά.

Τα αποτελέσματα που παράγονται με τους πολύ στενούς σφυγμούς δεν πρέπει να γενικευτούν και να εφαρμοστούν στην έκθεση που προκαλείται με τα ψηφιακά κινητά τηλέφωνα. Η διάρκεια του σφυγμού σε κινητό τηλέφωνο είναι χαρακτηριστικά τουλάχιστον δέκα φορές μεγαλύτερη, για το ίδιο μέσο SAR, κατόπιν, το μέγιστο SAR είναι αντίστοιχα λιγότερο από ένα δέκατο του μέγιστου SAR χρησιμοποιημένο στα βιολογικά πειράματα σφυγμού που αναφέρονται παραπάνω.

### 3.5.1 Καταρράκτης

Το κεφάλι και τα μάτια ενός χρήστη κινητού τηλεφώνου μπορεί να είναι μεταξύ 2-8cm απόσταση από την ακτινοβόλουσα πηγή και τα δύο είναι έπειτα από τον όρο των σύνθετων τομέων επαγωγής. Όταν ένας καταρράκτης παράγεται με έκθεση κοντά σε μια συγκεκριμένη φασματική ζώνη ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας , είναι πιθανόν να βρεθούν και άλλες αλλαγές στο μάτι. Αυτά περιλαμβάνουν, ακτινοβολία ιονισμού, μεταγενέστερη του πολικού καταρράκτη, από την UV ακτινοβολία, που προκαλεί καταρράκτη λόγω της μη-ιονισμένης ακτινοβολίας , της ραδιοσυχνότητας και της ενέργειας των μικροκυμάτων. Το κολέγιο είχε τη μεγάλη εμπειρία παρατήρησης της ανάπτυξης ακτινοβολίας στους καταρράκτες. Έχει εξετάσει επαγγελματικά χιλιάδες επιστήμονες και τεχνικούς που έχουν εργαστεί σε περιβάλλοντα με τη γνωστή ακτινοβολία. Στα κράτη του Zarat, ο μη-ιονίζοντας καταρράκτη αυτός καθ' εαυτός ως κλινικά αναγνωρίσιμη οντότητα, έχει εξελιχθεί μόνο από τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο που τροφοδότησε με καύσιμα την ηλεκτρονική επανάσταση και οδηγήθηκε στην ανάπτυξη από μια ευρεία ποικιλία των ηλεκτρονικών συσκευών . Ειδικότερα, στο Zarat έχουν βρεθεί καταρράκτες που έχουν αναπτυχθεί από διαρροές των φούρνων μικροκυμάτων (2450MHz = 2,45GHz) και από σωλήνες ακτινών που χρησιμοποιούνται σε ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας, που είναι ειδικής σχετικότητας , σε αντίθεση με τα κινητά τηλέφωνα και τα ραδιόφωνα CB. Βεβαίως, στην πράξη, είχε αναφερθεί ότι διάφοροι εργαζόμενοι, ελεγκτές στα ραντάρ και στην εναέρια κυκλοφορία που είχαν αναπτύξει καταρράκτες, απαιτούσαν χειρουργική επέμβαση στη δεκαετία του '30.

### 3.5.2 Θερμική αλλαγή στον κερατοειδή χιτώνα

Ο Δρ Hall και η ομάδα του στο Πανεπιστημιακό τμήμα του Μπρίστολ έχει πραγματοποιήσει πρόσφατα δοκιμές με απομονωμένα μάτια χοίρων που εξέθεσαν ποικίλες συχνότητες παλλόμενων μικροκυμάτων σε 1 GHz, 3 GHz και 35GHz. Τα μάτια τοποθετήθηκαν σε οστεώδεις τροχιές ενός πρότυπου ανθρώπινου κεφαλιού και σε αλλαγές θερμοκρασιών όπου μετριόταν οι έλεγχοι που διεξάγονται. Λαμβάνοντας υπόψη νωρίτερες δηλώσεις άλλων προσώπων, διαπιστώσαμε ότι όχι μόνο η κερατοειδής επιφάνεια γίνεται θερμότερη, αλλά και η αμφιβληστροειδής θερμοκρασίες αυξάνεται έως και 5°C. Οι δοκιμές ήταν χρονοβόρες και, όπως αναμένεται, όσο περισσότερη είναι η έκθεση τόσο πιο πολύ καταστρέφεται ο κερατοειδής χιτώνας. Αυτό έχει μεγάλη σημασία για τον φακό επαφής, όπως επίσης και για την ξηροφθαλμία και την οφθαλμική ταλαιπωρία που μπορεί να μην είναι προφανή στον ασθενή. Οι δοκιμές ήταν πάνω από διάρκεια 6 έως 12 ή 24 λεπτών, μήκος τηλεφωνημάτων.

### 3.5.3 Αμφιβληστροειδής αύξηση θερμοκρασίας

Στην ίδια σειρά δοκιμών, ο Δρ Hall διαπίστωσε ότι οι αμφιβληστροειδής θερμοκρασίες αυξάνονται κατά πέντε βαθμούς στα σήματα 1.36 GHz, 5,3 GHz και 9,6 GHz (όλες οι ζώνες μικροκυμάτων) και 3.8°C για 8.7 GHz στο ίδιο επίπεδο δύναμης. Έτσι κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία που αυξάνεται μέσα στο μάτι εξαρτάται από τη συχνότητα των μικροκυμάτων, τη συναφή ισχύ, και τη διάρκεια της έκθεσης. Το πάχος εξαρτήθηκε από το συνδυασμό της συχνότητας και της συναφούς ισχύος. Οι συχνότητες προκάλεσαν διαφορετικά σχέδια στην αύξηση της θερμοκρασίας στα μάτια. Κατά συνέπεια, κάποιος πρέπει να δει τα προβλήματα με ορισμένους τύπους κινητών τηλεφώνων και όχι με άλλους, που χρησιμοποιούν διαφορετική μετάδοση συχνότητων. Όπως δήλωσε ο Hall το μέγεθος και η θέση τέτοιων θερμικών δυναμικών ζωνών μπορεί να επιφέρει φυσιολογικά αποτελέσματα. Το πρόσφατο και επίκαιρο άρθρο των Καθηγητών Michael Doughty και Nick Rumney στην *οπτομετρία* ("μελλοντικός ρόλος των οφθαλμιάτρων στο UK θεραπεύοντας την προηγούμενη ασθένεια τμήματος των ματιών") είναι σχετικό με τους χρήστες κινητών τηλεφώνων. Η ξηροφθαλμία και το κερατοειδές έλκος έχουν αναφερθεί στους χρήστες που μιλούν πάρα πολλές ώρες στο κινητό τηλέφωνο.

### 3.6 ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΤΟΜΕΩΝ ΡΑΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

Η έρευνα που μελετά τα συγκεκριμένα ζητήματα σχετικά με τα ασύρματα φάσματα επικοινωνίας έχει αρχίσει πρόσφατα. Μερικά από τα τρέχοντα *in vitro* πειράματα είναι πολλαπλασιασμός κυττάρων, ζημία DNA, έκφραση γονιδίων, πρωτεϊνική σύνθεση, εμβρυϊκή ανάπτυξη, και προώθηση καρκίνου. Τα *in vivo* πειράματα περιλαμβάνουν το DNA στα κύτταρα εγκεφάλου, εγκεφαλικά εμπόδια και οφθαλμικά αποτελέσματα. Είναι ευρέως γνωστό ότι στην αρκετά υψηλή ένταση, η ενέργεια RF μπορεί να παραγάγει δυσμενές θερμικές επιδράσεις στη λειτουργία του ανθρώπινου σώματος. Εντούτοις, εκτός από εγκαύματα δέρματος που μπορεί να προκύψουν από την άμεση επαφή με την εκπεμπόμενη κεραία, βιολογικές απαντήσεις σχετικά με τους αναπτυσσόμενους ιστούς που θερμαίνονται θα ήταν ένα δεύτερο ζήτημα για την έκθεση στους τομείς ραδιοσυχνότητας που εκπέμπονται από τις ασύρματες συσκευές επικοινωνίας. Πρόσφατο προσεχτικό και ερευνητικό αποτέλεσμα έχει συγκλίνει πιθανές επιδράσεις που μπορεί να εμφανιστούν σε παρατεταμένη ή ισόβια έκθεση σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό το έγγραφο συνοψίζει τα αποτελέσματα από τις δημοσιευμένες μελέτες χρησιμοποιώντας τις συχνότητες στην ίδια φασματική ζώνη και παρέχει τις πληροφορίες για την τρέχουσα δραστηριότητα που είναι κατάλληλη. Η περίληψη θα περιλάβει την προώθηση καρκινογένεσης και καρκίνου από το RF και την έκθεση μικροκυμάτων, και άλλες *in vitro* και *in vivo* μελέτες που περιλαμβάνουν κυρίως το κεντρικό νευρικό σύστημα και άλλους ιστούς στο κεφάλι.

#### 3.6.1 Τα αποτελέσματα του κεντρικού νευρικού συστήματος *in vivo*

Ένας σφυγμός μικροκυμάτων με μια ενεργειακή πυκνότητα περισσότερων από 100mJ/m και διάρκεια λιγότερη από 30μs προκαλεί μια ακουστική αίσθηση όταν φτάνει στο κεφάλι (Puranen και Jokela 1996). Προκαλείται πιθανώς από μια πολύ μικρή αλλά γρήγορη άνοδο της τοπικής θερμοκρασίας. Αυτή η ξαφνική θερμική επέκταση των μικροσκοπικών αναλογιών σχετική με αυτό το φαινόμενο προκαλεί τις μηχανικές δονήσεις που ταξιδεύουν άμεσα στο εσωτερικό αυτί και δημιουργούν την ενόχληση στα ακουστικά κύτταρα των δεκτών. Ακόμα και ένας πολύ μικρός αριθμός μεμονωμένων σφυγμών μπορεί να δημιουργήσει μια ακουστική αίσθηση, και η ίδια η συχνότητα σφυγμού να είναι σημαντική. Η μέση πυκνότητα ισχύος μπορεί πραγματικά να είναι πολύ χαμηλή, λιγότερο από 1W/m. Η ακουστική αίσθηση δεν είναι υπό αυτήν τη μορφή ιδιαίτερα επιβλαβής, αλλά μπορεί να προκαλέσει πίεση. Μπορεί επίσης να ληφθεί ως σημάδι μιας θερμοελαστικής διαδικασίας στον ιστό, ο οποίος θα μπορούσε επίσης να εξηγήσει άλλα φαινόμενα με πειράματα στην παλλόμενη ακτινοβολία. Εντούτοις, η διάρκεια του σήματος ενός ψηφιακού κινητού τηλεφώνου πρέπει να είναι μακροχρόνια (577 μs) για να προκαλέσει οποιαδήποτε ακουστική αίσθηση.

Τα πειράματα έχουν δείξει ότι η παλλόμενη ακτινοβολία μπορεί να έχει επιπτώσεις στο κεντρικό νευρικό σύστημα με διάφορους τρόπους. Ο Lai

(1987,1988, 1989, 1991) έχει κάνει εκτενείς δοκιμές στον εγκέφαλο των αρουραίων με ακτινοβολία 2,450MHz . Τα περισσότερα πειράματα έχουν γίνει με χρησιμοποίηση της παλλόμενης ακτινοβολίας με διάρκεια σφυγμού 2  $\mu$ s και συχνότητα σφυγμού 500Hz, τα όποια δίνουν έναν παράγοντα καθήκοντος του 1/1000. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το μέσο ολόσωμο SAR έχει μετρηθεί στα 0,6 W/kg. Η χαμηλότερη παραγωγή αξίας SAR είναι 0,45W/kg.

Οι παράμετροι που μελετώνται συνδέονται με τη χολινεργική νευρική δραστηριότητα του εγκέφαλου. Το χολινεργικό σύστημα στον εγκέφαλο παίζει σημαντικό ρόλο όταν ένα ζώο προσπαθεί να προσαρμόσει τη συμπεριφορά του στις περιβαλλοντικές αλλαγές.

Η έκθεση στην ακτινοβολία προκαλεί αλλαγές στη λήψη χολίνης ειδικά στον ιππόκαμπο στην περιοχή του εγκεφάλου, αλλά και στο μετωπικό φλοιό. Μια ενιαία έκθεση 20 λεπτών προκαλεί μια αύξηση στη λήψη χολίνης, ενώ μια έκθεση 45 λεπτών προκαλεί μια μείωση. Οι αλλαγές ήταν αρκετά μικρές (περ. 30%). Η απάντηση παρέμεινε η ίδια, ακόμα και όταν αυξήθηκε η επίδραση σε 1,2W/kg.

Ήταν δυνατό να αποτραπεί η επίδραση στον ιππόκαμπο με τη δόσης ενός naltrexone πριν από την έκθεση. Το Naltrexone είναι ένας ανασταλτικός παράγοντας (μορφίνη). Αυτό καταδεικνύει ότι η επίδραση της ακτινοβολίας ήταν μεσολαβημένη από αυτές τις ουσίες. Η μείωση στη λήψη χολίνης στον ιππόκαμπο, φάνηκε μετά από έκθεση 45 λεπτών, υπαγόμενη στην ανάπτυξη της ανοχής ,εάν η έκθεση επαναληφθεί 10 διαδοχικές ημέρες, καμία απάντηση δεν ανιχνεύθηκε μετά από τη 11η έκθεση. Εντούτοις, καμία ανοχή δεν αναπτύσσεται σε αντίθετη απάντηση της πιο σύντομης έκθεσης, δηλαδή σε μια αύξηση στη λήψη χολίνης.

Μετά από την επαναλαμβανόμενη έκθεση, καθορίστηκε ότι είχε υπάρξει μια αντισταθμιστική αλλαγή στον αριθμό των χολινεργικών νευρικών δεκτών στον ιστό. Για παράδειγμα, στον ιππόκαμπο, μια 45' έκθεση επαναλαμβανόμενη για 10 διαδοχικές ημέρες οδήγησε σε έναν αυξανόμενο αριθμό δεκτών. Αυτή η επίδραση θα μπορούσε να αποτραπεί με το naltrexone. Η απάντηση στο μετωπικό φλοιό ήταν εν μέρει παρόμοια και εν μέρει ανόμοια στον ιππόκαμπο. Η ακτινοβολία συνεχών-κυμάτων(Continuous Wave) (CW) σε μια συχνότητα 2.450MHz και με ένα μέσο SAR 0,6W/kg οδηγεί σε μια μείωση στη λήψη χολίνης στο μετωπικό φλοιό. Από την άλλη πλευρά , καμία τέτοια επίδραση δεν θα μπορούσε να ανιχνευθεί στον ιππόκαμπο. Επίσης, το naltrexon δεν είχε καμία επίδραση σε αυτή την απάντηση. Γενικά, τα αποτελέσματα που ανιχνεύθηκαν στο μετωπικό φλοιό δεν θα μπορούσαν να αποφευχθούν με το naltrexon, σε αντίθεση με τα αποτελέσματα στον ιππόκαμπο.

Οι απαντήσεις στα διαφορετικά μέρη του εγκεφάλου δείχνουν ότι αυτό δεν είναι τοπική ζημία, αλλά μια φυσιολογική απάντηση στη συστηματική έκθεση. Η ίδια ερευνητική ομάδα έχει εκθέσει παρόμοια αποτελέσματα στο χολινεργικό σύστημα του εγκεφάλου προκαλούμενο, παραδείγματος χάριν, από το θόρυβο (Lai 1987). Ένα επίπεδο θορύβου 100 dB διάρκειας 45 λεπτών προκάλεσε παρόμοια αποτελέσματα στον ιππόκαμπο με την 45' έκθεση στην παλλόμενη ακτινοβολία RF. Η απάντηση στο θόρυβο θα μπορούσε να αποτραπεί με τη χρήση του naltrexon. Αντίθετα, ένας θόρυβος 70 dB είχε την αντίθετη επίδραση, δηλ. αύξηση στη λήψη χολίνης. Η πίεση περιορισμού στους αρουραίους που αποτρέπεται από την κίνηση με τη

σύνδεση στα πόδια τους προκάλεσε μια μείωση στη λήψη χολίνης μετά από 45' στον ιππόκαμπο και στο μετωπικό φλοιό (Lai et Al 1986). η επίδραση στον ιππόκαμπο θα μπορούσε να αποτραπεί με το naltrexon, αλλά όχι στη περίπτωση του μετωπικού λοβού.

Μια άλλη μελέτη ανέφερε ότι η πίεση περιορισμού στους αρουραίους οδήγησε σε μια αύξηση λήψη χολίνης στον ιππόκαμπο μετά από 10 λεπτά, αλλά αυτή η λήψη μετά από δύο ώρες μειώνεται (Finkelstein et Al 1985). Η απάντηση ήταν αντιφατική. Αυτό σύμφωνα με την παρατήρηση του Lai , οι αρουραίοι για λίγα λεπτά κάνουν πολύ έντονες κινήσεις αλλά έπειτα ηρεμούν και παραμένουν έτσι.

Όλες αυτές οι παρατηρήσεις προτείνουν ότι η πτώση στη χολινεργική δραστηριότητα στον ιππόκαμπο και οι ενδογενείς ουσίες που μεσολαβούν, συνδέονται με τη γενική προσαρμογή του σώματος στις αγχωτικές καταστάσεις.

Η ερευνητική ομάδα του Lai ανίχνευσε επίσης τις αλλαγές στον αριθμό δεκτών benzodiazepine μετά από παρόμοια έκθεση στην παλλόμενη ακτινοβολία (Lai et Al 1992). Μια έκθεση 45 λεπτών οδηγεί σε μια αύξηση 13% στον αριθμό δεκτών στο φλοιό αλλά όχι στον ιππόκαμπο ή την παρεγκεφαλίδα. Εντούτοις, όταν η έκθεση επαναλήφθηκε για 10 διαδοχικές ημέρες, καμία αύξηση δεν μπορούσε να ανιχνευθεί. Με άλλες λέξεις, η προσαρμογή είχε εμφανιστεί. Επίσης έχει αποδειχθεί ότι άλλα είδη πίεσης , όπως ένας θόρυβος 100 dB ή η κολύμβηση σε κρύο νερό, μπορεί να προκαλέσει μια παρόμοια αύξηση στον αριθμό δεκτών (Lai και Carino 1990). Στην πραγματικότητα, το benzodiazepine διαδραματίζει σημαντικό ρόλο ως μεσολαβητής της απάντησης του σώματος στην πίεση.

Τα αποτελέσματα στον εγκέφαλο που περιγράφονται ανωτέρω δείχνουν εκείνη την παλλόμενη ακτινοβολία RF σε επίπεδο που δεν προκαλεί σημαντική αύξηση στη θερμοκρασία του σώματος και μπορεί να προκαλέσει μια ήπια φυσιολογική πίεση. Η πίεση στα ζώα θα μπορούσε να προκληθεί από μια ακουστική αίσθηση που προκαλείται από το σφυγμό. Σε αυτήν την περίπτωση, τα αποτελέσματα στην υγεία θα ήταν περιορισμένα σε σχέση με τα αποτελέσματα της μη συγκεκριμένης πίεσης και τα αποτελέσματα του επαναλαμβανόμενου θορύβου. Αυτά τα αποτελέσματα είναι πιθανόν μικρότερης πρακτικής σημασίας, εάν η έκθεση είναι συχνή ή πολύ μεγάλης διάρκειας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται από την ομάδα του Lai, η ακτινοβολία CW έχει περιορισμένα και μη συγκεκριμένα αποτελέσματα, και η αιτία και η σημασία της παραμένουν ασαφή. Μπορεί να είναι θέμα μιας ελάχιστης ισόθερμης επίδρασης .

Ο αντίκτυπος της κινητής τηλεφωνικής ακτινοβολίας στο EEG, θέματα ως εθελοντικής άγρυπνης δοκιμής , έχουν μελετηθεί πρόσφατα στη Φινλανδία (Hietanen et Al 1997)δεν έχει παρατηρηθεί κανένα αποτέλεσμα . Οι γερμανοί ερευνητές έχουν συναγάγει επίσης παρόμοια συμπεράσματα (Roschke και Mann 1997). Εντούτοις, ανίχνευσαν εάν και μικρό ένα σημαντικό αποτέλεσμα όταν το κινητό είναι κλειστό .

### 3.6.1.α Δοκιμές που πραγματοποιούνται στα ζώα στην επαγωγή μελέτης από τον καρκίνο in vivo

Τα τελευταία χρόνια, τα πειράματα με τα ζώα έχουν εστιαστεί στην πιθανή προαγωγή καρκίνου ως αποτελέσματα της ακτινοβολίας RF, δηλ. η δυνατότητά του να προωθήσει την καρκινώδη αύξηση.

Μια πολωνική ερευνητική ομάδα (Szmigielski et Al 1982) εξέτασε την επίδραση προαγωγής στα ποντίκια χρησιμοποιώντας τρία διαφορετικά πρότυπα : 1) τα κύτταρα σαρκωμάτων μεταφέρθηκαν από ένα ποντίκι σε άλλο σε τέτοιους αριθμούς μεταξύ ενός και τεσσάρων καρκινωδών εστιάσεων που θα αναμένονταν κανονικά να εμφανιστούν μετά από δύο εβδομάδες 2) κατά τη διάρκεια πέντε μηνών, το δέρμα ενός ποντικιού αντιμετωπίστηκε με benzopyrene, το οποίο προκαλεί καρκίνο δέρματος στα περισσότερα ποντίκια 3) οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με μια πίεση ποντικιών στην οποία το 80% των θηλυκών αναπτύξανε καρκίνο του μαστού μέσα σε ένα έτος. Για την έκθεση χρησιμοποιήθηκε η ακτινοβολία CW εύρος 2.450 MHz και πυκνότητα ισχύος 50 ή 150W/m<sup>2</sup>. Το ισοδύναμο SAR είναι 2 –3 W/kg ή 6 –8 W/kg, ο χρόνος έκθεσης ήταν δύο ώρες ανά ημέρα για έξι ημέρες εβδομαδιαίως. Για τη σύγκριση, άλλες ομάδες ποντικιών κρατήθηκαν σε πολύ μικρά κλουβιά για εβδομάδες ή μήνες, τα οποία προκάλεσαν χρόνιο σύνδρομο πίεσης και επιθετική συμπεριφορά.

Και οι τρεις δοκιμές παρήγαγαν παρόμοια αποτελέσματα. Η έκθεση στην ακτινοβολία RF προκάλεσε καρκίνο που αναπτύσσεται νωρίς, όπως και χρόνια πίεση που προκλήθηκε από την αιχμαλωσία. Τα χαμηλότερα SAR επίπεδα (2-3 W/kg) δημιουργούν αποτελέσματα παρόμοια στο μέγεθος με την αιχμαλωσία στο υψηλότερο SAR που είχε σαφώς μια μεγαλύτερη επίδραση.

Τα αποτελέσματα είναι από μόνα τους πειστικά. Εντούτοις, λόγω των ανεπαρκειών και ασυνεπειών στην υποβολή έκθεσης, η ερμηνεία πρέπει να είναι κάπως προσεκτική. Τα αποτελέσματα προτείνουν ότι ακόμα κι αν η έκθεση δεν προκάλεσε καθόλου μετρήσιμη αύξηση στην πρωκτική θερμοκρασία, η επίδραση είναι εντούτοις ένα αποτέλεσμα μη συγκεκριμένου σχετικά με τη φυσική πίεση σχετική και το θερμικό φορτίο. Σύμφωνα με τους συντάκτες, το ποσοστό 2 W/kg είναι ήδη αρκετά παραπάνω από την ενεργειακή παραγωγή του βασικού μεταβολισμού στα ποντίκια. Στις πρώτες μελέτες του ο (Roszkowski et Al 1980) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι απορρόφηση 18 W/kg προκαλεί μια ευδιάκριτη άνοδο στη θερμοκρασία στα ποντίκια (πρωκτική θερμοκρασία  $41,5 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ). Εντούτοις, άλλες μελέτες (Gordon 1982) υποστηρίζουν ότι τα ποντίκια έχουν υψηλότερο βασικό μεταβολικό ποσοστό και ότι μόνο ένα ποσοστό παραπάνω από 20 W/kg θα μπορούσε να προκαλέσει σαφώς ευδιάκριτη θερμική πίεση στα ποντίκια.

Μια άλλη ομάδα (Santini et Al 1988) εξέθεσε τα ποντίκια στην παλλόμενη ακτινοβολία και στην ακτινοβολία CW με μια συχνότητα 2.450MHz και ο μέσος όρος SAR ήταν 1,2 W/kg. Ακόμη και μια καθημερινή έκθεση που διαρκεί για αρκετούς μήνες δεν έχει ευδιάκριτη επίδραση στην ανάπτυξη μελανώματος που μεταμοσχεύεται στα ποντίκια.

Σε μια πρόσφατη ετήσια συνεδρίαση της Βιοηλεκτρομαγνητικής Κοινωνίας, του Adey (1996) εξέθεσε μια μελέτη στην οποία στα έμβρυα των αρουραίων υπήρχε μια μικρή δόση του ethylni-trosurea, το οποίο είναι

υπαίτιο για τους όγκους στο νευρικό σύστημα. Οι αρουραίοι εκτέθηκαν έπειτα στον σφυγμό της διαμορφωμένης ακτινοβολία που αντιγράφει την κινητή τηλεφωνική έκθεση για δύο ώρες ημερησίως, τέσσερις ημέρες εβδομαδιαίως. Το μέσο SAR ήταν 0,3–0,75 W/kg, ανάλογα με το μέγεθος του αρουραίου. Δεν υπήρξε καμία επίδραση στην έναρξη ή την προώθηση όγκου στο κεντρικό νευρικό σύστημα, στην πραγματικότητα, υπήρξαν λιγότεροι όγκοι στην ακτινοβόλουσα ομάδα από ό,τι στην ακτινοβόλουσα ομάδα ελέγχου, και είχαν πολύ μικρό μέγεθος.

Γίνεται και μια μελέτη που συνδέεται με το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα COST 244 στη Φινλανδία. Σκοπός της μελέτης αυτής είναι να εξεταστεί η πιθανή επίδραση της κινητής τηλεφωνικής ακτινοβολίας για την ανάπτυξη καρκίνου (που προωθεί την επίδραση) στα ποντίκια (Heikkinen 1997). Η ακτινοβολία ιονισμού χρησιμοποιήθηκε ως παράγοντας έναρξης για τον καρκίνο. Κατά χρησιμοποίηση της ακτινοβολίας CW, οι μέσες τιμές SAR ήταν 1.2–1,5 W/kg και στην παλλόμενη ακτινοβολία RF 0,3–0,4 W/kg. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα αποτελέσματα, η ακτινοβολία RF δεν είχε καμία σαφή επίδραση προαγωγής καρκίνου. Εντούτοις, οι άλλες συνθήκες έκθεσης, οι οποίες ήταν ίδιες για εκθεμένα ζώα (περνώντας 1,5 ώρα ημερησίως και πέντε ημέρες εβδομαδιαίως), συνδέθηκε με μια αξιοπρόσεχτο καθυστέρηση στο να πάρουν βάρους τα ποντίκια. Μόνο μια ιστοπαθολογική μελέτη που θα εξέταζε τα δείγματα που λαμβάνονται από τα ποντίκια θα μπορούσε να δει εάν έχει υπάρξει οποιοσδήποτε κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου.

Η επίδραση της ραντάρ τύπου παλλόμενης ακτινοβολίας για την υγεία των αρουραίων έχει μελετηθεί από τον Chou (1992), ο οποίος εξέθεσε τους αρουραίους σε εικοσιτετράωρη βάση. Η συχνότητα που χρησιμοποιήθηκε ήταν 2.450MHz, η διάρκεια του σφυγμού 10μs, η συχνότητα σφυγμού 800HZ και το μέσο ολόσωμο SAR 0,15–0,4 W/kg. Η επίδραση στο αίμα και στους διάφορους άλλοι δείκτες υγείας ήταν αμελητέα και δεν υπήρξε ευδιάκριτη επίδραση στην υπολογιζόμενη διάρκεια ζωής και στο συνολικό αριθμό όγκων.

Ο Repacholi (1997) έχει ερευνήσει την επίδραση της παλλόμενης ακτινοβολίας στη κινητή τηλεφωνία, στα ποντίκια που είχαν λάβει μια προαγωγή για γονίδια όγκων. Η συχνότητα ήταν 900MHz, το πλάτος σφυγμού 600 ms και συχνότητα σφυγμού 217HZ. Τα ποντίκια εκτέθηκαν για 30 λεπτά δύο φορές την ημέρα (σε διαστήματα 12-ώρων) για 18 μήνες. Κατά τη διάρκεια της έκθεσης, τα ζώα μπορούσαν να περιπλανηθούν ελεύθερα στα κλουβιά τους. Ανάλογα με τη θέση και το μέγεθος του ποντικιού, το ολόσωμο SAR υπολογίστηκε ότι ποικίλει μεταξύ 0,008 και 4,2 W/kg. Υποτίθεται ότι κάθε ποντίκι εκτέθηκε τουλάχιστον σε διάφορα W/kg σε κάποιο σημείο. Από τα 101 ποντίκια που εκτεθήκανε, τα 43 συμβλήθηκαν από λέμφωμα. Η μελέτη απέδειξε πειστικά ότι η έκθεση συνέβαλε στην ανάπτυξη του λεμφώματος στα ποντίκια που φέρνουν το γονίδιο όγκου. Εντούτοις, επειδή οι πειραματικοί όροι επέτρεψαν μια μεγάλη παραλλαγή στην έκθεση, είναι απίθανο να καθοριστεί σε ποιο επίπεδο υπάρχει προαγωγή για καρκίνο. Οι υψηλότερες τιμές SAR μπορεί να είχαν προκαλέσει μικρές αλλαγές στο thermoregulation σύστημα χωρίς οποιαδήποτε πραγματική άνοδο στη θερμοκρασία (ισόθερμη επίδραση). Η μελέτη πρόσφερε υποστήριξη στα θετικά αποτελέσματα που αναφέρθηκαν ήδη.

Τα περισσότερα από τα πειράματα με τα ζώα σχετικά με την πιθανή προαγωγή καρκίνου από την αδύναμη RF ακτινοβολία, έχει παραγάγει αρνητικά αποτελέσματα. Κατά συνέπεια, η έκθεση είναι αρκετά κάτω από το επίπεδο που προκαλεί ένα αυξανόμενο θερμικό φορτίο και δεν μπορεί να έχει οποιαδήποτε ισχυρή συγκεκριμένη επίδραση για καρκίνο.

### 3.6.2 Τα *in vitro* αποτελέσματα της ακτινοβολίας μικροκυμάτων στη φυσιολογία της μεμβράνης των κυττάρων

Η μεμβράνη των κυττάρων διαδραματίζει έναν κρίσιμο ρόλο στη μεταγωγή των εξωτερικών σημάτων προς το εσωτερικό των κυττάρων και μεταξύ των κυττάρων. Η μεμβράνη των κυττάρων, που αποτελείται από τα λιπίδια, τις πρωτεΐνες και τους υδατάνθρακες, είναι μια ρευστή δομή κατά της οποίας τα συστατικά μπορούν να αλλάξουν τον εντοπισμό και τις αλληλεπιδράσεις με άλλα μόρια σε απάντηση στα εξωτερικά και εσωτερικά σήματα. Αυτό, στη συνέχεια, μπορεί να αλλάξει τη σταθερή κατάσταση του κυττάρου στα εξωτερικά ή εσωτερικά σήματα. Η ακτινοβολία μικροκυμάτων επηρεάζει τη ρευστότητα της μεμβράνης των κυττάρων και την κανονική αλληλεπίδραση μεταξύ των τμημάτων της μεμβράνης των κυττάρων.

Οι αιτιώδεις παράγοντες που περιλαμβάνονται στην επίδραση της ακτινοβολίας μικροκυμάτων στη μεμβράνη των κυττάρων δεν είναι ακόμα σαφής. Έχει παρατηρηθεί ότι τα μικροκύματα μπορεί να προκαλούν θερμικά αποτελέσματα δηλαδή αυξανόμενη ταλάντωση των μορίων ύδατος ή μη-θερμικά αποτελέσματα (π.χ. αλλαγές στη διανομή των μορίων, παραγωγή από τα αντιδραστικά αποτελέσματα ειδών οξυγόνου), ή και από τα δύο ταυτόχρονα. Κανένας δεν έχει τη δυνατότητα να αποκλείσει την χαμηλή ακτινοβολία SAR που μπορεί να προκαλέσει θερμικές επιδράσεις, επειδή δεν είναι δυνατό να καθοριστεί η θερμοκρασία μέσα στα υπό-κινητά διαμερίσματα. Κατά συνέπεια, ακόμη και στα πειράματα που πραγματοποιούνται με μια αυστηρά ελεγχόμενη θερμοκρασία μπορεί να εμφανιστεί φυσιολογικά μια σχετική άνοδος της θερμοκρασίας. Μια τέτοια αύξηση της θερμοκρασίας "χωρισμένη σε διαμερίσματα" μπορεί να είναι αρκετά ισχυρή για να αλλάξει τη φυσιολογία των κυττάρων. Εντούτοις, ανεξάρτητα από την αιτία της επίδρασης των μικροκυμάτων στη μεμβράνη των κυττάρων (θερμικά ή /και μη-θερμικά), τα μικροκύματα εμφανίζονται να είναι σε θέση να αλλάζουν τις ιδιότητες στη μεμβράνη των κυττάρων, η οποία μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες σε *in vitro* και *σε in vivo*.

Οι μηχανισμοί που προκαλούν ζημιά στη μεμβράνη των κυττάρων μετά από την ακτινοβολία μικροκυμάτων εξαρτώνται από τη δόση και τον τρόπο ακτινοβολίας. Κατά συνέπεια, είναι ευρέως γνωστό ότι τα μεγάλης έντασης μικροκύματα (περισσότερα από 100–150W/m<sup>2</sup>) ασκούν άμεσα και έμμεσα θερμικές επιδράσεις. Σε εντάσεις κάτω από 100W/m<sup>2</sup> τα μη-θερμικά αποτελέσματα ήταν κρίσιμα. Ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του '70 είχε παρουσιαστεί ένδειξη ότι η διαμορφωμένη σε εύρος ακτινοβολία μπορεί να επηρεάσει όλη τη μεμβράνη. Μερικές αλλαγές στις λειτουργίες της μεμβράνης δηλ. μεταφορά κατιόντων και διαπερατότητα μεμβρανών, μεταγωγή σημάτων και επικοινωνία κυττάρων, χαμηλής συχνότητας (κάτω από 100Hz) διαμορφωμένη ακτινοβολία, και άλλους συνεχείς τομείς στην ίδια ένταση δεν

προκαλούν οποιαδήποτε αποτελέσματα στα κύτταρα. Αυτές οι αλλαγές στη λειτουργία της μεμβράνης μπορούν να εξηγηθούν από μια συγκεκριμένη αλληλεπίδραση μεταξύ της χαμηλής συχνότητας των διαμορφωμένων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων και των ομάδων μεμβρανών όπως και το πιθανό σχεδιάγραμμα των μεμβρανών. Σε έναν πολύ ισχυρό τομέα, οι μεμβράνες των κυττάρων γίνονται ηλεκτρικά μη γραμμικής-δομής. Αυτό επιτρέπει στις μεμβράνες να λειτουργήσουν σαν ανιχνευτές τομέα, το οποίο σημαίνει ότι φιλτράρουν τα τμήματα χαμηλής συχνότητας από τον τομέα ραδιοσυχνότητας. Κατά συνέπεια, μπορεί να υπάρξει μια σύνδεση μεταξύ των αποτελεσμάτων του εύρους που διαμορφώνουν τη ραδιοσυχνότητα των τομέων και τη χαμηλή συχνότητα των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων. Εντούτοις, στην πράξη δεν έχει δημοσιευθεί κανένα γραμμικό φαινόμενο σε επίπεδο έκθεσης.

Έχουν καθοριστεί μερικά από τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας μικροκυμάτων στη δομή και τη φυσιολογία της μεμβράνης των κυττάρων. Έχει διαπιστωθεί ότι η έκθεση ενός κυττάρου στα μικροκύματα μπορεί να αλλάξει: (i) τη ρευστότητα και διαπερατότητα της μεμβράνης, (ii) τη δραστηριότητα των ενζύμων, (iii) τις κυτταροπλασματικές διαβάσεις και (iv) επιφέρει αλλαγές στη μεταγωγή σημάτων στη μορφολογία των κυττάρων. Αυτές οι αλλαγές στη μεμβράνη των κυττάρων μπορούν να εξασθενίσουν την κανονική λειτουργία από τους ιστούς και τα όργανα. Εντούτοις, όπως παρουσιάζεται παρακάτω, τα επιτευχθέντα αποτελέσματα από διαφορετικά εργαστήρια, που χρησιμοποιούν διαφορετικά πειραματικά όργανα και πρότυπα απαιτούνται περαιτέρω διευκρίνιση. Επίσης, πολλές μελέτες στερούνται πειραμάτων που αυτό θα καθόριζε εάν τα παρατηρηθέντα αποτελέσματα μικροκυμάτων στα συστατικά του κύτταρου είναι πράγματι ικανά να αλλάξουν τη γενική φυσιολογία των κυττάρων και των ιστών.

### **3.6.2.α Τα αποτελέσματα στον πολλαπλασιασμό κυττάρων και την προώθηση όγκων in vitro**

Τα ανωτέρω περιγεγραμμένα αποτελέσματα της ακτινοβολίας μικροκυμάτων σχετικά με την φυσιολογία της μεμβράνης των κυττάρων και της δραστηριότητας των ενζύμων μπορεί να έχουν επίδραση στην προώθηση και την πρόοδο όγκων με τη ρύθμιση του πολλαπλασιασμού κυττάρων ή το θάνατο των κυττάρων. Διάφορες μελέτες εξέτασαν το θέμα του μετασχηματισμού κυττάρων και του πολλαπλασιασμού κυττάρων από την ακτινοβολία μικροκυμάτων. Οι Balcer-Kubiczek & Harrison (1985, 1989, 1991) εξέτασαν την επίδραση της ακτινοβολίας μικροκυμάτων στο μετασχηματισμό του ποντικίου. Στην πρώτη μελέτη τους (Balcer - Kubiczek & Harrison 1985), χρησιμοποίησαν ακτινοβολία μικροκυμάτων 2,45 GHz (SAR = 4,4 W/kg), κατέδειξαν ότι η έκθεση σε αυτά τα μικροκύματα μειώνει την αποδοτικότητα του κύτταρου κατά 50%, και ότι τα μικροκύματα, ούτε μόνα τους ούτε σε συνδυασμό με τις ακτίνες X, μπορούν να μετασχηματίσουν τα κύτταρα. Εντούτοις, η έκθεση μικροκυμάτων που ακολουθείται από την επεξεργασία του εστέρα phorbol (στον μη-μετασχηματισμό της συγκέντρωσης) οδηγείται στατιστικά σε σημαντική αύξηση 3,5 πτυχών στο μετασχηματισμό των κυττάρων. Μια παρόμοια επίδραση της συνδυασμένης επεξεργασίας από την ακτινοβολία

μικροκυμάτων και από τον εστέρα rhorbol αναφέρθηκε σε μια επόμενη μελέτη (Balcer - Kubiczek & Harrison 1989). Εντούτοις, σε αυτήν την μελέτη οι συντάκτες δεν ανίχνευσαν οποιαδήποτε επίδραση των μικροκυμάτων στην αποδοτικότητα των κύτταρων, η οποία έρχεται σε αντίθεση με συμπεράσματα της πρώτης έκθεσής τους ( Balcer - Kubiczek & Harrison 1985).

Οι ίδιοι συντάκτες (Balcer - Kubiczek & Harrison 1991) έχουν υποβάλει έκθεση ότι στον τομέα μικροκυμάτων 2,45 GHz, με σφυγμό που διαμορφώνεται στα 120Hz (SAR = 0,1, 1 και 4,4 W/kg), σε συνδυασμό με την επόμενη επεξεργασία εστέρα rhorbol, είχαν μια μετασχηματισμένη επίδραση στα κύτταρα. Οι τρεις μελέτες που αναφέρονται ανωτέρω, παρά τις μερικές αποκλίσεις στα αποτελέσματα, προτείνουν ότι αν και μόνα τους τα μικροκύματα μπορεί να μην είναι αρκετά ισχυρά να προκαλέσουν μετασχηματισμό των κυττάρων, σε συνδυασμό όμως με ένα μετασχηματισμένο κύτταρο ή και ένα διεγερτικό των κυττάρων μπορεί να έχουν μια *in vitro* καρκινογόνο επίδραση στις κυτταροκαλλιέργειες. Εάν αυτό ισχύει, για τους *in vivo* όρους παραμένει να καθορισθεί.

### 3.7 ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

Ο Chang (1989) διαπίστωσε ότι μια σύντομη έκθεση στα μικροκύματα χαμηλής έντασης *in vitro* σε 100 W/m ( SAR = 0.2418 W/kg) προκαλεί σημαντικές αλλαγές στη λεπτή δομή των κύτταρων του συκωτιού. Ο Somosy (1991) εντόπισε παρόμοιες αλλαγές από την ακτινοβολία σε συνεχή κύματα στην ίδια σειρά έντασης. Εντούτοις, οι διαμορφωμένοι τομείς μικροκυμάτων ήταν αποτελεσματικότεροι. Τα κύτταρα που ήταν εκτεθειμένα στη χαμηλής συχνότητας διαμορφωμένη ακτινοβολία μικροκυμάτων (24mW/kl) υποβλήθηκαν στην μερική αποσύνδεση από το υπόστρωμα. Οι συνεχείς τομείς μικροκυμάτων δεν προκάλεσαν αλλαγές στη μορφή του κυττάρου. Εντούτοις, και οι δύο συνεχείς και διαμορφωμένοι τομείς μικροκυμάτων προκάλεσαν παρόμοιες μορφολογικές αλλαγές στη λειτουργία των κυττάρων (διαστολή τραχιάς, αύξηση των λυσοσωμάτων, διάσπαση της εσωτερικής μιτοχονδριακής μεμβράνης κ.τ.λ). Η φυσιολογική σημασία των μορφολογικών αλλαγών απαιτεί περαιτέρω διευκρίνιση.

Οι φυσικοί στην Ισπανία έχουν αναπτύξει ένα πρότυπο (μοντέλο) που αναλύει πώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία των κινητών που απορροφάται από τα κύτταρα επηρεάζεται από τη μορφή και τον προσανατολισμό των κυττάρων μας.

Το νέο πρότυπο που προτείνεται από τον Jose Luis Sebastian και συνάδελφους του στο Πανεπιστήμιο Complutense αντιπροσωπεύει πιο ρεαλιστικά τις μορφές των κυττάρων και της ηλεκτρομαγνητικής επιρροής τους το ένα στο άλλο. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η γεωμετρία των κυττάρων και οι αλληλεπιδράσεις τους έχουν έντονες επιπτώσεις στην δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου και την ισχύ που απορροφάται στους ανθρώπινους ιστούς.

Η ομάδα του Sebastian επομένως ανέπτυξε ένα περιπλοκώτερο μοντέλο που θεωρεί πως τα κύτταρα διαμορφώνονται όπως οι ράβδους, οι κύλινδροι

και οι μπάλλες του ράγκμπι. "Εάν πρόκειται να καταλάβουμε τα βιολογικά αποτελέσματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, είναι ουσιαστικό εμείς να εξετάζουμε τα συνδυασμένα αποτελέσματα της μορφής και της αλληλεπίδρασης των κυττάρων", λέει ο Sebastian. Οι επιστήμονες ερεύνησαν τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας από 900 έως 2450 MHz τα μήκη αυτά της ακτινοβολίας είναι με τη σειρά τα αντικείμενα στα οποία εκτίθεται ο κόσμος: τα κινητά τηλέφωνα, οι φούρνοι μικροκυμάτων, και τα ραντάρ αστυνομίας και εναέρας κυκλοφορίας.

Ο Sebastian και οι συνάδελφοι του διαπίστωσαν ότι τα ηλεκτρικά πεδία στα ελλειψοειδή και κυλινδρικά κύτταρα ήταν υψηλότερα από εκείνα που παρατηρήθηκαν στις προσομοιώσεις των σφαιρικών κυττάρων. Επίσης παρατήρησαν ότι τα φαινόμενα πτόλωσης στα κύτταρα που ευθυγραμμίζονται με το ηλεκτρικό πεδίο ενισχύουν το πεδίο στα τοιχώματα των κυττάρων. Μια περαιτέρω λεπτομερής έρευνα που συμπεριέλαβε τα αποτελέσματα του νερού που βρίσκεται μέσα στα κύτταρα έδειξε ότι, για όλες τις μορφές κυττάρων, το ηλεκτρικό πεδίο ήταν υψηλότερο από τα απλούστερα μέχρι τώρα προβλεφθέντα πρότυπα .

Η τρέχουσα μελέτη διεξήχθη σε μικροσκοπικό επίπεδο, ενώ η έρευνα στα αποτελέσματα των κινητών τηλεφώνων συνήθως είναι βασισμένη σε ολόκληρες τις βιολογικές δομές. "Θα ήταν δυνατό να θεωρηθεί ένας ιστός ως σύνολο των κυττάρων, αλλά σκέφτομαι ότι μια ρεαλιστική προσομοίωση του ηλεκτρικού πεδίου θα ήταν σχεδόν αδύνατη", είπε ο Sebastian στο PhysicsWeb. "Αλλά η έρευνά μας θα μπορούσε να παράσχει καλύτερες πληροφορίες για τα αποτελέσματα έκθεσης ακτινοβολίας και να καθιερώσει ενδεχομένως χαμηλότερα αποδεκτά επίπεδα για την ακτινοβολία από τα κινητά τηλέφωνα".

### **3.8 ΑΛΛΗΛΟΣΥΓΚΡΟΥΟΜΕΝΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΤΩΝ ΙΣΤΩΝ ΛΟΓΩ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ**

Μια νέα μεγάλη έρευνα πάνω στα ζώα για την ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων, δείχνει ότι οι εκπομπές δεν προξενούν καρκίνο. Πάντως, έρευνα από μια άλλη δεύτερη ομάδα υπαινίσσεται πως τα κινητά μπορούν να βλάψουν τους ανθρώπους με διάφορους τρόπους.

Καθώς τα κινητά γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλή, οι επιστήμονες επικεντρώνονται στις επιδράσεις τους πάνω στην υγεία των χρηστών, λόγω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπουν πλησίον του εγκεφάλου. Και το μικρό ποσό της ενέργειας από ένα κινητό έχει αναφερθεί ότι δημιουργεί φαινόμενα πίεσης στα κύτταρα των ζώων και ότι επηρεάζει τα ρεφλέξ των ανθρώπων, εντούτοις οι επιστήμονες δυσκολεύονται να πουν κατά πόσον τέτοια ακτινοβολία προξενεί σημαντικούς κινδύνους υγείας.

Για να συλλέξουν περισσότερες πληροφορίες, οι ερευνητές της Πανεπιστημιακής Ιατρικής Σχολής στην Ουάσιγκτον εξέθεσαν αρουραίους στις δύο συχνότητες της ακτινοβολίας που εκπέμπουν συνήθως τα κινητά τηλέφωνα, λέει ο επικεφαλής της μελέτης Joseph L. Roti Roti. Για 2 έτη, οι επιστήμονες τοποθέτησαν 480 αρουραίους σε αίθουσες δίπλα στις ράδιο-κεραίες. Για 5 ώρες κάθε ημέρα, το ένα τρίτο των ζώων εκτέθηκε στη συχνότητα που παράγεται με ψηφιακό κινητό τηλέφωνο και το άλλο τρίτο, στη

συχνότητα ενός αναλογικού κινητού τηλεφώνου. Οι υπόλοιποι αρουραίοι δεν έλαβαν καμία ακτινοβολία.

Στο τέλος του πειράματος, η ομάδα εξέτασε τα ζώα για όγκους στον εγκέφαλο και σε 30 άλλους ιστούς. Οι ερευνητές δεν βρήκαν καμία σημαντική διαφορά στην ανάπτυξη όγκων μεταξύ των ομάδων. Η ομάδα αυτή παρουσίασε τα συμπεράσματα της, στην πόλη του Κεμπέκ, σε μια συνεδρίαση της Βιοηλεκτρομαγνητικής Εταιρείας.

"Από όσο μπορώ να πω. .. ο μέγιστος κίνδυνος με τα κινητά τηλέφωνα είναι όταν ένας μιλάει σε ένα κινητό και συγχρόνως οδηγεί", λέει ο Roti Roti, η μελέτη του οποίου χρηματοδοτήθηκε μερικώς από την γιγαντιαία τηλεπικοινωνιακή βιομηχανία Motorola.

Άλλοι όμως επιστήμονες δεν πείθονται. Ο τύπος των εκπομπών που η ομάδα δοκίμασε δεν είναι ο πιο κοινός ή πιο χρησιμοποιούμενος, σχολιάζει ο W. Ross Adey του Πανεπιστημίου Ioma Linda στην Καλιφόρνια. Αν και ο Roti Roti εξέτασε το είδος του σήματος που χρησιμοποιείται στις Ηνωμένες Πολιτείες, λέει ο Adey, οι περισσότερες χώρες χρησιμοποιούν έναν άλλο τύπο, ο οποίος μπορεί να ταξιδεύει επιπλέον στον ιστό.

Ο Adey επίσης σημειώνει ότι άλλες μακροχρόνιες μελέτες στα ζώα έχουν εμφανίσει μικτά αποτελέσματα.

Άλλα συμπεράσματα που παρουσιάζονται στην βιοηλεκτρομαγνητική συνάντηση συνδέουν την ακτινοβολία των κινητών με τις μοριακές αλλαγές στα κύτταρα. Μια ομάδα από τη Φινλανδία εξέτασε τη καλλιέργηθηκαν στο εργαστήριο και που εκτέθηκαν στην ακτινοβολία των κινητών τηλεφώνων για 48 ώρες. Οι ερευνητές, που καθοδηγήθηκαν από τον Dariusz Leszczynski της Αρχής για την Ακτινοβολία και την Πυρηνική Ασφάλεια στο Ελσίνκι, διαπίστωσαν ότι στα κύτταρα που εκτέθηκαν στην ακτινοβολία, περισσότερα από 20 γονίδια ήταν το καθένα είτε λίγο είτε πολύ πιο ενεργά από τα συνηθισμένα. Σημείωσαν επίσης τις αλλαγές στις ποσότητες των πρωτεϊνών που παρήχθησαν από αυτά τα γονίδια.

Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι μερικά από τα γονίδια ελέγχουν τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων και την απόκριση στην πίεση. "Είναι δύσκολο να σκεφτείς τις πιθανές επιπτώσεις στην υγεία σε αυτή τη φάση", λέει ο Leszczynski.

Στη συνεδρίαση, αποκάλυψε επίσης αποτελέσματα ενός πειράματος που ερευνά πώς τα κινητά τηλέφωνα μπορούν να αυξήσουν τη διαπερατότητα των αγγείων στον εγκέφαλο, όπως υποδεικνύεται από τις προηγούμενες μελέτες πάνω στα τρωκτικά. Η επίδραση αυτή θα επέτρεπε σε μόρια, που αποκλείονται κανονικά από τον εγκέφαλο, να εισέλθουν μέσα.

Στο πείραμα, που χρησιμοποίησε καλλιεργημένα ανθρώπινα κύτταρα αγγείων, ο Leszczynski διαπίστωσε ότι η ενεργός μορφή μιας πρωτεΐνης γνωστής ως θερμική πρωτεΐνη 27 αυξάνεται πολύ όταν εκτίθενται τα κύτταρα στην ακτινοβολία της κινητής τηλεφωνίας. Αυτή η δραστηριότητα οδηγεί σε μια συσσώρευση των ινών πίεσης, οι οποίες είναι μέρος των εσωτερικών υλικών δόμησης ενός κυττάρου. Οι πρόσθετες ίνες μπορούν να διαστρεβλώσουν τα κύτταρα, που αποτελούν τα τοιχώματα των αγγείων και με αυτόν τον τρόπο αυξάνουν τη διαπερατότητα, λέει ο Leszczynski.

Η εργασία του Leszczynski είναι "απολύτως συναρπαστική," σχολιάζει ο Alan Preece του Πανεπιστημίου του Μπρίστολ στην Αγγλία. "Εάν επαναληφθεί στο άθικτο σώμα, έχει φρικιαστικές επιπτώσεις". Ο Preece

προήδρευσε μιας συνεδρίας πάνω στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τη γνώση.

Πρόσφατα στοιχεία δεν εμπλέκουν τη χρήση του κινητού τηλεφώνου στην ανάπτυξη του καρκίνου, βρίσκει μια ανεξάρτητη επιθεώρηση. Αλλά προτείνουν να υπάρχει μια προληπτική προσέγγιση στη χρησιμοποίησή τους. Η έκθεση της συμβουλευτικής ομάδας, που δημιουργήθηκε από την Βρετανική Επιτροπή Ραδιολογικής Προστασίας, λέει ότι ο περιορισμός της έρευνας έως σήμερα, και το γεγονός ότι τα κινητά τηλέφωνα δεν έχουν μεγάλο χρόνο ύπαρξης και φυσικά χρήσης ώστε να ξέρουμε τις μακροχρόνιες επιπτώσεις τους στην υγεία, αυτό λοιπόν σημαίνει ότι οι κίνδυνοι για την υγεία δεν μπορούν να αποκλειστούν εντελώς.

Η έρευνα έγινε ως απάντηση σε ένα αίτημα από την Κυβέρνηση της Βρετανίας, ύστερα από τη δημοσίευση τον Μάιο του 2000 της έκθεσης του Stewart σχετικά με την επίδραση των κινητών τηλεφώνων πάνω στην υγεία. Η ανεξάρτητη συμβουλευτική ομάδα σχετικά με την μη ionίζουσα ακτινοβολία, καθοδηγήθηκε από τον καθηγητή Anthony Swerdlow στο Ερευνητικό Ίδρυμα του Καρκίνου στο Λονδίνο, αξιολόγησε τα πρόσφατα πειραματικά και επιδημιολογικά στοιχεία στην μικροκυματική ραδιοφωνική ακτινοβολία RF από όλες τις πηγές, ιδιαίτερα εκείνων που συνδέονται με τα κινητά τηλέφωνα και τους σταθμούς βάσεων των κινητών.

Μερικές προηγούμενες μελέτες έχουν βρει πιθανά δυσμενή αποτελέσματα στον εγκέφαλο, όταν γίνεται έκθεση του σε μικροκύματα σε επίπεδα παρόμοια με εκείνα των κινητών τηλεφώνων. Αλλά η συμβουλευτική ομάδα θεώρησε αυτά τα γενικά στοιχεία αναποτελεσματικά.

Επιπλέον, πιο πρόσφατη, καλύτερη ποιότητα, έρευνα δεν επιβεβαιώνει τα συμπεράσματα των πρώτων-πρώτων μελετών, που πρότειναν ότι οι εκπομπές είχαν επιπτώσεις στη μετακίνηση των ιόντων ασβεστίου στους νευρικούς ιστούς.

"Αθροιστικά, η έρευνα του 2000 που δημοσιεύθηκε από τον Stewart, αναφέρει ότι δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας", ολοκληρώνει η έκθεση, λέγοντας ότι το βάρος των στοιχείων δεν εμπλέκει τις εκπομπές των μικροκυμάτων σε εκθέσεις κάτω από τα συνιστώμενα επίπεδα.

Αλλά, αυτή η έκθεση προειδοποιεί ότι τα μεταβλητά στοιχεία των βραχυπρόθεσμων διαθέσιμων ερευνητικών στοιχείων σημαίνουν ότι δεν μπορούν να αποκλειστούν εντελώς επιβλαβή φαινόμενα πάνω στην υγεία.

"Υπάρχει λοιπόν πιθανότητα να υπάρχουν επιδράσεις πάνω στην υγεία λόγω έκθεσης σε H/M πεδία RF και κάτω από τα επίπεδα ασφαλείας, ως εκ τούτου απαιτείται μια συνεχής έρευνα", λέει.

Το Εθνικό Συμβούλιο Ραδιολογικής Προστασίας ανέφερε ότι είναι σωστό να υπάρχει μια προσεκτική προσέγγιση στην ανάπτυξη της τεχνολογίας της κινητής τηλεφωνίας".

Ο δε Michael Clark, επιστημονικός εκπρόσωπος του προηγούμενου Συμβουλίου, είπε τέλος ότι υπάρχει ακόμα αβεβαιότητα για τις επιπτώσεις της κινητής τηλεφωνίας στην υγεία.

### 3.9 Ο ΠΙΘΑΝΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΑΡΚΙΝΟΓΕΝΗΣΗ

Η μεγαλύτερη ανησυχία είναι εάν η χρήση των κινητών τηλεφώνων συνδέεται με το εάν τα τηλέφωνα μπορούν να προκαλέσουν ή να επηρεάσουν την ανάπτυξη του καρκίνου. Η ανάπτυξη καρκίνου είναι μια πολυβάθμια διαδικασία που αποτελείται από την έναρξη, την προώθηση και την πρόοδο. Οι γενετοξικές δοκιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση των πιθανών αποτελεσμάτων της ακτινοβολίας των κινητών τηλεφώνων στην έναρξη του καρκίνου. Ένας τύπος έκθεσης που είναι σε θέση για το γενότυπο των κυττάρων είναι σε γενικές γραμμές επίσης ικανός για καρκίνο ή για κληρονομική ζημία. Εκεί έχουν γίνει διάφορες γενετοξικές δοκιμές για την περιγραφή της ζημίας του γενότυπου. Μερικές από αυτές μετρούν την αποσύνθεση DNA (π.χ. σπασίματα του ενός ή των δύο σκελών DNA) ενώ άλλες μετρούν τις αλλαγές στην ακολουθία βάσεων DNA (π.χ. ένα περισσότερο ή ένα λιγότερο ζευγάρι βάσεων ως αποτέλεσμα της επισκευής καθαρισμού). Σε μερικές γενετοξικές δοκιμές, ο πραγματικός μηχανισμός μπορεί να είναι άγνωστος και η αλλαγή που μετριέται μπορεί να είναι ένα αποτέλεσμα των γενετοξικών και μη-γενετοξικών διαδικασιών (αλλαγή στον αριθμό χρωμοσωμάτων, δυσμορφία σπέρματος, μετασχηματισμός κυττάρων).

Γενικά θεωρείται ότι ακτινοβολία RF ή ακόμα και η ακτινοβολία μικροκυμάτων περισσότερο του 1 GHz δεν μπορεί να προκαλέσει οποιαδήποτε άμεση ζημία γονιδίων. Αυτό, επειδή η ακτινοβολία είναι πάρα πολύ αδύνατη για να είναι σε θέση να σπάσει τους χημικούς δεσμούς. Όταν η απορρόφηση της ακτινοβολίας RF από τον ιστό είναι αρκετά υψηλή είναι δυνατόν να προκαλέσει άνοδο της θερμοκρασίας και αλλαγές στη πρωτεΐνη αρχίζουν να πραγματοποιούνται στη δομή των κυττάρων. Η ακτινοβολία RF μπορεί να παράγει έμμεσα γενετοξικά αποτελέσματα μέσω θερμικών αποτελεσμάτων ή ως αποτελέσματα των αλλαγών στα χαρακτηριστικά διαπερατότητας από τη μεμβράνη των κυττάρων. Η περίληψη στη γενετοξικότητα της ακτινοβολίας RF του Brusick (1995/96), ο οποίος πραγματοποίησε 105 διαφορετικές μελέτες. Μόνο μερικές από τις μελέτες ενδιαφέρονται για τις κινητές τηλεφωνικές συχνότητες. Σε πολλές περιπτώσεις, τα σχετικά υψηλά επίπεδα έκθεσης που είχαν χρησιμοποιηθεί δεν μπορούσαν να αποκλείσουν τα θερμικά αποτελέσματα. Κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των γενετοξικών δοκιμών, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι *in vitro* δοκιμές είναι σχετικά ευαίσθητες και ότι οι δοκιμές με χημικές ουσίες παράγουν επίσης σποραδικά θετικά αποτελέσματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα σποραδικά οριακά αποτελέσματα εμφανίζονται επίσης ως μη-μεταλλαξιγόνα. Κάτω από *in vitro* συνθήκες ένα ψεύτικο θετικό αποτέλεσμα αυτού του είδους μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στο pH. Ελάχιστες απαντήσεις σε *in vitro* και *in vivo* όρους μπορούν επίσης να προκληθούν από ένα ανώμαλο αποτέλεσμα ελέγχου ή από ένα μικρό μέγεθος του δείγματος. Ανάλογα με το σύστημα δοκιμής, η αναλογία των σποραδικών θετικών αποτελεσμάτων μπορεί να ποικίλει μερικά τοις εκατό από το γενικό σύνολο. Ο πίνακας IV παρουσιάζει την περίληψη που συντάσσεται από την ομάδα Brusick των 105 μελετών γενετοξικότητας.

**Πίνακας IV.** Αποτελέσματα των γενετοξικών αποτελεσμάτων της ακτινοβολίας RF όπως παράγεται από διαφορετικές μελέτες.

Mechanism	Type of damage	Research result		
		Studies	Negative	Positive
DNA disintegration				
	DNA breaks	14	9	5*
	Micronuclei	5	0	5
	Chromosome damage	30	17	13
	Dominating lethal mutation	6	3	3
Nucleotide substitution and recombination				
	Genemutation	26	25	1
	SCE	17	15	2
Unknown				
	Loss of chromosome	2	2	0
	Sperm malformations	2	1	1
	Cell transformation	3	1	2
* All <i>in vivo</i>				

Μελέτες όπου η ακτινοβολία RF ήταν χαμηλή και η δυνατότητα μιας θερμικής επίδρασης μπορεί να αποκλειστεί είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτη. Οι Lai και Singh (1995) εκθέσανε αρουραίους στην ακτινοβολία μικροκυμάτων 2,450-MHz για δύο ώρες, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της μονοκύτταρης ηλεκτροφόρησης ('commit assay') και εξετάσανε τον αριθμό σπασιμάτων DNA στα κύτταρα του εγκεφάλου των αρουραίων. Ο αριθμός σπασιμάτων DNA στα κύτταρα εγκεφάλου αμέσως μετά από την παλλόμενη ακτινοβολία (διάρκεια σφυγμού 2μs, 500 σφυγμοί /δευτερόλεπτο) ήταν συγκρίσιμο με το επίπεδο ελέγχου, αλλά ο αριθμός σπασιμάτων DNA αυξήθηκε ουσιαστικά τέσσερις ώρες μετά την έκθεση (SAR = 1,2 W/kg). Μετά από 2.450MHz της ακτινοβολίας CW, μια αύξηση στον αριθμό των σπασιμάτων DNA ήταν ευδιάκριτη τέσσερις ώρες μετά τη έκθεση (SAR = 1,2 W/kg). Αντίθετα παρατήρησαν ότι τα αποτελέσματα επηρεάστηκαν έντονα με τη μέθοδο 'commit assay' που χρησιμοποιήθηκε για να σκοτώσει τους αρουραίους μετά από την έκθεση. Όταν χρησιμοποίησαν CO<sub>2</sub> για να προκαλέσουν ασφυξία, τα αποτελέσματα ποίκιλαν ανάλογα με το χρόνο μεταξύ της αρχικής επεξεργασίας του CO<sub>2</sub> και της ψύξης του εγκεφάλου. Μια καθυστέρηση

μερικών λεπτών προκάλεσε ζημιά στο DNA του ίδιου μεγέθους με 2 Gy της ακτινοβολίας ιονισμού όταν μετριέται με 'commit assay'. Από την άλλη πλευρά, γρήγορος αποκεφαλισμός από τη λαιμητόμο ακολουθούμενος από άμεση ανατομή και ψύξη του εγκεφάλου έδωσαν αποτελέσματα με μικρές σταθερές αποκλίσεις. Κανένα από τα πειράματα δεν παρουσίασε οποιαδήποτε ένδειξη επίδρασης μετά από 2 ώρες στη CW έκθεση μικροκυμάτων (2.450MHz, SAR 1,2 W/kg), ούτε 4 ώρες αργότερα. Δεδομένου ότι ο Lai και οι λοιποί είχαν χρησιμοποιήσει ένα συνδυασμό CO<sub>2</sub> και αποκεφαλισμού για να σκοτώσουν τους αρουραίους, προκαλείται σύγχυση από τη φονική διαδικασία για μια πιθανή εξήγηση των αποτελεσμάτων τους.

Ο Sarkar (1994) έκθεσε τα ποντίκια στην ακτινοβολία των 2.450MHz με πυκνότητα ισχύος 10W/m (SAR = 1,2 W/kg) δύο ώρες καθημερινά για 120, 150 και 200 ημέρες. Τα δείγματα DNA που εξετάστηκαν από τον εγκέφαλο και τους όρχεις των εκθεμένων ζώων ήταν τεμαχισμένα χρησιμοποιώντας τα ένζυμα περιορισμού και υβριδοποίησης μαζί με έναν συνθετικό έλεγχο σε μια επαναλαμβανόμενη ακολουθία. Συγκρίνοντας τα ζώα, το μήκος των ακολουθιών βάσεων DNA των εκτεθειμένων ζώων είχε αλλαχθεί στην περιοχή των 7 –8Kb. Δεδομένου ότι τα 7.7 Kb δεν ήταν εμφανές στο DNA των ζώων που ελεγχόταν αλλά εμφανιζόταν μόνο στο DNA των εκτεθειμένων ζώων.

Οι συντάκτες υπέθεσαν ότι ο αριθμός αντιγράφων του δείκτη των μη εκτεθειμένων ζώων ήταν τόσο χαμηλός που δεν παρουσίασε ηλεκτροφόρηση. Η έκθεση μικροκυμάτων θα μπορούσε να αναγκάσει αυτές τις επαναλαμβανόμενες ακολουθίες βάσεων να αντιγραφούν. Δεν είναι ακόμα γνωστό εάν οι γενετοξικές ουσίες μπορούν να προκαλέσουν μεταλλάξεις στο επαναλαμβανόμενο DNA ακολουθίας.

Είναι γνωστό, εντούτοις, ότι η πίεση μπορεί να αντιγράψει την ακολουθία DNA μέσω επαναλαμβανόμενο DNA στην μη-κωδικοποίηση (εξωτερικά γονίδια) των περιοχών.

Η έλλειψη άμεσων αποτελεσμάτων DNA δεν αποκλείει τη δυνατότητα που κάτω από σίγουρες συνθήκες το DNA θα μπορούσε να πάθει κάποια βλάβη ως αποτέλεσμα των έμμεσων μηχανισμών. Ειδικά τα τελευταία χρόνια, διάφορες μελέτες έχουν εξετάσει τη δυνατότητα εάν τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία μπορούν να καταστήσουν τα κύτταρα ευαίσθητα στις επιδράσεις των χημικών μεταλλαξιογόνων και των καρκινογόνων ουσιών. Η έρευνα για αυτές τις συνδυασμένες επιδράσεις έχει παραγάγει ποικίλα αποτελέσματα: μερικά δείχνουν ότι αυτές οι συνδυασμένες επιδράσεις υπάρχουν, ενώ άλλα έχουν αποτύχει να τα ανιχνεύσουν. Δεν έχουν σχέση όλες αυτές οι μελέτες με την ακτινοβολία RF, και μόνο η ομάδα του Damiani (1995) και Maes (1996) έχουν εστιαστεί στις κινητές τηλεφωνικές συχνότητες. Η τελευταία ομάδα ανακάλυψε ότι η έκθεση στον τομέα 954-MHz σε κεραία GSM των σταθμών βάσεων αύξησε τη γενετοξική επίδραση στις κυτταροκαλλιέργειες. Πρότειναν ότι ο μηχανισμός για αυτήν την ευαισθητοποίηση θα μπορούσε να έχει αυξανόμενη διαπερατότητα στη μεμβράνη των κυττάρων η οποία θα διευκόλυνε τα χημικά μεταλλαξιογόνα να φθάσουν στο DNA.

### 3.10 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΠΙΔΗΜΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

Λίγες επιδημιολογικές έρευνες έχουν γίνει για τις επιπτώσεις στην υγεία που έχει η ακτινοβολία RF, και όλες οι μελέτες ήταν ανεπαρκής (Bergqvist 1997). Μια αξιόλογη έκθεση έχει βασιστεί μόνο στο εάν έχει γίνει άμεση μέτρηση της πραγματικής έκθεσης. Εκτός αυτού, δεν υπάρχει κανένα στοιχείο όσον αφορά άλλα είδη έκθεσης, όπως οι χημικές ουσίες, και άλλους συγγέοντες παράγοντες. Πολλές από τις μελέτες έχουν αρνητικά παραχθέντα αποτελέσματα, και τα λίγα θετικά αποτελέσματα δεν έχουν εμφανιστεί σε άλλες μελέτες. Στην έκθεσή του, το WHO (1993) δήλωσε ότι οι επιδημιολογικές μελέτες δεν έχουν παράσχει καμία σαφή ένδειξη ότι η έκθεση στην RF ακτινοβολία έχει επιβλαβή αποτελέσματα στην ανθρώπινη υγεία.

Μια πολωνική μελέτη (Szmigielski et Al 1996) εξέτασε το ποσοστό καρκίνου του στρατιωτικού προσωπικό, μερικό από το οποίο εκτίθονταν στην παλλόμενη ακτινοβολία CW και RF . Οι μετρήσεις πυκνότητας ισχύος έγιναν στις θέσεις εργασίας από το εκτεθειμένο πρόσωπο, αλλά καμία άλλη μεμονωμένη εκτίμηση του επιπέδου ή της διάρκειας της έκθεσης δεν έγινε.

Η μελέτη έδειξε ότι οι διάφοροι τύποι καρκίνου ήταν πιο κοινοί μεταξύ εκτεθειμένων από ό,τι μεταξύ των μη εκτεθειμένων προσώπων. Το συνολικό ποσοστό καρκίνου μεταξύ των εκτεθειμένων προσώπων ήταν περισσότερο από δύο φορές από ότι των μη εκτεθειμένων . Εντούτοις, παραμένει ασαφές πώς τα στοιχεία που αφορούν την έκθεση συγκεντρώθηκαν, και είναι δυνατόν ότι η διάγνωση καρκίνου έχει επηρεάσει την ταξινόμηση της έκθεσης. Εκτός αυτού, η έκθεση δεν δηλώνει εάν η κατάσταση αφορά το έτος που έγινε η διάγνωση καρκίνου ή προηγούμενα έτη.

Οι επιδημιολογικές μελέτες για τους κινδύνους υγείας από τα κινητά τηλέφωνα έχουν αρχίσει, αλλά κανένα τελικό αποτέλεσμα δεν είναι ακόμα διαθέσιμο. Μια μελέτη βασισμένη στους εγγραφομένους συνδρομητές των κινητών τηλεφώνων είναι εν εξελίξει στις ΗΠΑ. Η ομάδα περιλαμβάνει 250.000 πρόσωπα. Γίνεται , μια διάκριση μεταξύ των χρηστών φορητών τηλεφώνων και τηλεφώνων αυτοκινήτων. Η έκθεση που προκαλείται από τον τελευταίο τύπο είναι ελάχιστη. Κατά την αξιολόγηση των πιθανών κινδύνων υγείας που είναι συνδεδεμένα με τη χρήση κινητών τηλέφωνα, που δημοσιεύονται μέχρι τώρα είναι λίγα. Λόγω των περιορισμών τους, δεν μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν ως βάση για οποιαδήποτε συμπεράσματα.

### 3.11 ΕΠΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΠΡΟΩΘΗΣΗ ΚΑΡΚΙΝΟΥ

Η πιθανή επίδραση στο κεντρικό νευρικό σύστημα για παρουσίαση καρκίνου από την έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που εκπέμπονται από

την ασύρματη τεχνολογία επικοινωνιών έχει γίνει ιδιαίτερα ανησυχητική . Μερικά αποτελέσματα από προηγούμενες μελέτες που χρησιμοποιούν τις συχνότητες στην ίδια ζώνη φάσματος συνοψίζονται στον πίνακα 7 και για το συνεχές κύμα (CW) και για τους διαμορφωμένους τομείς RF. Το μέσο SAR σε W/kg δίνεται, εκτός αν υποδεικνύεται . Μπορεί να φανεί ότι υπάρχει μόνο ένας μικρός αριθμός μελετών. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι εκτός από την έκθεση σχετικά με την επιταχυνόμενη ανάπτυξη αυθόρμητων όγκων στα ποντίκια , η έκθεση σε 915 και 2450MHz προωθεί την επιταχυνόμενη αύξηση όγκων των ζώων μόνο εάν ο όγκος αρχίζει με άλλα μέσα.

Διάφορες *in vitro* μελέτες για καρκινογέννηση στο κυψελοειδές επίπεδο, που χρησιμοποιούν τις ίνες ποντικών, παρουσίασαν παρόμοια τάση της απάντησης. Είναι αξιοσημείωτο ότι αυτή η σειρά πειραμάτων είχε ως σκοπό αρχικά να επεκτείνει τα συμπεράσματα του Szmigielski και Szudzinski . Ανακάλυψαν ότι η ταυτόχρονη έκθεση benzopyrene και η διαμορφωμένη ακτινοβολία μικροκυμάτων δεν είχε επιπτώσεις στο μετασχηματισμό των ινών. Άλλες εκθέσεις έχουν παρουσιάσει μέτριες αλλαγές στον πολλαπλασιασμό των ανθρώπινων κυττάρων μετά από 2-ωρη έκθεση 2450MHz σε 5W/kg . Η δραστηριότητα Ornithine decarboxylase στα καλλιεργημένα κύτταρα αυξάνεται μετά από έκθεση στα χαμηλότερα επίπεδα .

Πέρα από την ODC μπορεί να οδηγήσει στο βιοπλασματικό μετασχηματισμό. Η οξεία (2-ωρη.) έκθεση ολόκληρων σωμάτων σε μικροκύματα 2450MHz έχει αναφερθεί σε ζημία DNA στα κύτταρα του εγκεφάλου των αρουραίων. Μια αύξηση και στα ενιαία και διπλά σπασίματα DNA σκελών παρατηρήθηκε 4 ώρες μετά από την έκθεση είτε στην παλλόμενη (2 μικροδευτερόλεπτα εύρος, 500 pulse/s) είτε στην ακτινοβολία CW. Η πυκνότητα ισχύος και το SAR ήταν 2mW/t.ek. και 1-2W/kg, αντίστοιχα. Το τοπικό SAR στον εγκέφαλο υπολογίστηκε να είναι 1-4W/kg. Ο εγκέφαλος ανακαλέστηκε αμέσως αφότου δεν παρουσίασε από την έκθεση μικροκυμάτων οποιαδήποτε αύξηση στα σπασίματα σκελών DNA. Η λειτουργία CW και σφυγμού, επιπλέον, δεν αποκάλυψε οποιαδήποτε διαφορά. Οι συντάκτες έδειξαν ότι μια σημαντική αλλαγή στη θερμοκρασία σωμάτων αναμενόταν, εντούτοις δεν μετρήθηκε. Επίσης καμία διαφορά δεν φάνηκε για τη CW ή την παλλόμενη ακτινοβολία για να προταθεί κατά μέσο όρο μια επίδραση όπως θέρμανση, σε χαμηλό επίπεδο κατά τη διάρκεια ενός εκτεταμένου χρονικού διαστήματος (2-ωρών). Εντούτοις, οι συντάκτες σκέφτηκαν ότι τα συμπεράσματα θα μπορούσαν να προκύψουν από μια άμεση επίδραση του τομέα μικροκυμάτων στο μόριο DNA ή και την εξασθένιση των μηχανισμών επισκευής ζημίας DNA στα κύτταρα εγκεφάλου. Από τις ζημίες DNA, ειδικότερα, τα σπασίματα σκελών διαδραματίζουν έναν ρόλο στην καρκινογένεση, αυτές οι παρατηρήσεις θα μπορούσαν να γίνουν σημαντικές ενδείξεις στην καρκινογόνο δυνατότητα της χαμηλής ακτινοβολίας επιπέδων RF. Πρέπει να σημειωθεί ότι στις μελέτες τους ο Szmigielski και Szudzinski , χρησιμοποίησαν σχετικά υψηλό SAR (6-8 και 10-12W/kg). Τα SAR σε αυτό το μέγεθος είναι γνωστό ότι προκαλούν αξιόλογες αυξήσεις της θερμοκρασίας στο σώμα των ζώων. Δεδομένου ότι η χημική δράση διευκολύνεται από τη θερμική ενέργεια, η προσκληθείσα θέρμανση θα μπορούσε να έχει επηρεάσει τη δράση τέτοιων χημικών παραγόντων όπως του benzopyrene. Στην έρευνα του Chou σχεδιάσανε να μελετήσουν τα αποτελέσματα σχετικά με την παλλόμενη έκθεση μικροκυμάτων σε έναν

μεγάλο αριθμό ζώων καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους και με ιδιαίτερη έμφαση σε γενικές κατάσταση της υγείας και τη μακροζωία. Αρχίζοντας με ποντικούς που ακτινοβολήθηκαν οκτώ εβδομάδες από παλλόμενα μικροκύματα (τετραγωνικοί σφυγμοί 10-μικροδευτερολέπτου που διαμορφώνονται σε 8Hz και πάλονται σε 800 rps) για 25 μήνες. Παρατηρήθηκαν τα εξής συμπτώματα : βλεννογόνο καρκίνωμα, κακώθες λέμφωμα λεμφοκυττάρων, λευχαιμία, χειλικό σάρκωμα, και ίνωση σάρκωμα. Είναι αξιοσημείωτο ότι η ισόβια, συνεχής έκθεση δεν αποκάλυψε οποιαδήποτε σημαντικά αποτελέσματα στη γενική υγεία του πρώην εκτεθειμένων αρουραίων.

Σε μια μελέτη ανέκδοτη ακόμη στην επιστημονική κοινότητα, οι σουηδοί καθηγητές Lennart Hardell και Kjell Hansson Mild διαπίστωσαν ότι οι άνθρωποι που είχαν χρησιμοποιήσει τα αναλογικά κινητά τηλέφωνα μέχρι και 10 έτη, είχαν ένα 26 τοις εκατό υψηλότερο κίνδυνο καρκίνου στον εγκέφαλο,

Η μελέτη έχει αναστατώσει πολλούς επιστήμονες -- ακόμα κι αν είναι βασισμένη κατά ένα μεγάλο μέρος στην προηγούμενη γενεά των κινητών τηλεφώνων, πολλά από τα οποία εγκαταστάθηκαν στα αυτοκίνητα με τις κεραίες στη στέγη, και που εξέπεμπαν τα σήματα συνεχώς, αντίθετα από τα πιο πρόσφατα, ψηφιακά τηλέφωνα.

"Δεν μπορεί πλέον να λείει κανείς, πως δεν υπάρχει καμία σύνδεση (μεταξύ της χρήσης κινητών και των επιπτώσεων στην υγεία), " είπε ο εν λόγω Preece.

"Χωρίς καμία ερώτηση υπάρχει μια βιολογική απειλή," συμφώνησε ο James Lin, καθηγητής της βιομηχανικής και της ηλεκτρικής εφαρμοσμένης μηχανικής στο Πανεπιστήμιο του Ιλλινόις. "Η ερώτηση που μπαίνει είναι, πόσο επικίνδυνη είναι η χρήση της κινητής τηλεφωνίας."

Αλλά ο Lin είπε πως υπήρξαν σχεδόν πολλές μελέτες που ισχυρίζονται να δείχνουν ένα βιολογικό αντίκτυπο από την χρήση της κινητής τηλεφωνίας μέχρι μελέτες που έδειξαν το αντίθετο: "Η κατανόηση μας εξελίσσεται ακόμα. Πρέπει να έχουμε πολύ μεγαλύτερη βάση δεδομένων από γεγονότα."

Σημείωσε ότι παίρνει σχεδόν μια δεκαετία για να αναπτυχθούν οι περισσότεροι καρκίνοι του εγκεφάλου περισσότερο από την περίοδο χρήσης που καλύπτεται από τις περισσότερες μελέτες.

Η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO) είπε την προηγούμενη εβδομάδα ότι απαιτείται περισσότερη έρευνα, προτού να αποκλειστεί η ζημία στην υγεία.

Εντούτοις, η Elisabeth Cardis, προϊστάμενη της Ακτινοβολίας και του Καρκίνου, στο τμήμα για την έρευνα του καρκίνου της WHO, είπε σε μια διάσκεψη στη Φινλανδία, ότι οποιοσδήποτε πιθανός κίνδυνος είναι μικρός.

Πέρυσι, μια επιστημονική έρευνα χρηματοδοτούμενη από την Βρετανική κυβέρνηση, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ενώ δεν υπήρχε κανένα στοιχείο για κίνδυνο στην υγεία, θα ήταν σοφό να αποθαρρυνθούν τα παιδιά από τη χρησιμοποίηση των κινητών τηλεφώνων, επειδή είναι πιο ευαίσθητα στην ακτινοβολία.

Ένας επιστήμονας μάλιστα της τελευταίας επιτροπής, ο Χάιλαντ, τονίζει πως η ακτινοβολία, αποδεδειγμένα, επηρεάζει τους βιολογικούς ρυθμούς του εγκεφάλου και τα παιδιά είναι πιο ευάλωτα στην επίδρασή της. Η επίδραση αυτή μπορεί να νοηθεί ως ένα είδος παρεμβολής όπως εκείνη που συμβαίνει στα κύματα του ραδιοφώνου και μπορεί να διαταράξει τη σταθερότητα των κυττάρων. Τα πιο σημαντικά προβλήματα που μπορεί να προκληθούν είναι

νευρολογικής φύσης, όπως απώλεια μνήμης, διαταραχές του ύπνου και πονοκέφαλοι.

Η άποψη του Χάιλαντ διακρίνεται, πάντως, από τη συνήθη άποψη ότι η ακτινοβολία των κινητών θερμαίνει τον εγκεφαλικό ιστό. Ο επιστήμονας ισχυρίζεται πως ο κίνδυνος τον οποίο περιγράφει προέρχεται από ακτινοβολία μικρής έντασης και όχι θερμική ακτινοβολία

Έρευνα υποστηρίζει πως δεν υπάρχει συσχέτιση ακτινοβολίας και καρκίνου. Σε άρθρο που δημοσιεύθηκε στις 20-Δεκεμβρίου-2000 στο έγκυρο περιοδικό Journal of the American Medical Association, ερευνητές του Κέντρου Καρκίνου του Νοσοκομείου Μεμόριαλ της Νέας Υόρκης, του Αμερικανικού Ιδρύματος Υγείας και τεσσάρων ακόμη ερευνητικών κέντρων των ΗΠΑ, κατέληξαν στο εξής συμπέρασμα: Δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της χρήσης κινητού τηλεφώνου και της εμφάνισης όγκων στον εγκέφαλο. Οι ερευνητές τονίζουν, ωστόσο, ότι εξέτασαν την επίδραση της αναλογικής κινητής τηλεφωνίας που δεν χρησιμοποιείται όμως στην Ελλάδα και όχι της ψηφιακής (που είναι σε χρήση στην Ελλάδα), και αναφέρουν ότι πιο μακροχρόνιες έρευνες είναι απαραίτητες, προκειμένου να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα.

Καθώς το 85% των ατόμων χρησιμοποιούσε την κεραία σε πλήρη έκταση, οι ερευνητές περίμεναν ότι ένα μεγάλο ποσοστό των όγκων θα είχε αναπτυχθεί στο βρεγματικό λοβό (στα πλάγια του εγκεφάλου), ανάλογα με το ποιο αυτή χρησιμοποιούσαν περισσότερο οι καρκινοπαθείς χρήστες. Τέτοια συσχέτιση, ωστόσο, δεν βρέθηκε.

Οι συγγραφείς του άρθρου τονίζουν ότι θα πρέπει να διεξαχθούν μακροχρόνιες μελέτες για να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα σε σχέση με την ασφάλεια της κινητής τηλεφωνίας. Επίσης, οι ψηφιακές συσκευές ενδέχεται να έχουν διαφορετική επίδραση απ' ό,τι οι αναλογικές, που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.

Παλαιότερες έρευνες έχουν συνδέσει τις ραδιοσυχνότητες της κινητής τηλεφωνίας τόσο με την εμφάνιση εγκεφαλικών όγκων όσο και με γενετικές βλάβες στα κύτταρα του αίματος σε καλλιέργειες.

#### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για να αποτραπούν οι κίνδυνοι της RF ακτινοβολίας, έχουν αναπτυχθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών διεθνή και εθνικά πρότυπα. Το σημαντικότερο πρότυπο, όσον αφορά τα κινητά τηλέφωνα, είναι το πρότυπο περιορισμού της έκθεσης στο χρήστη. Επίσης, τεχνικά δεδομένα και πρότυπα που εναρμονίζουν οι εξεταστικές μέθοδοι έχουν μια σημαντική επίδραση στην έκθεση.

Συνήθως, η ακτινοβολία των εμπορικά διαθέσιμων κινητών τηλεφώνων είναι ρυθμισμένη στα όρια ασφάλειας που περιορίζουν την έκθεση στο ευρύ κοινό. Η ακτινοβολία που χρησιμοποιούν τα επαγγελματικά ραδιοφωνικά δίκτυα ρυθμίζεται από τα όρια ασφάλειας για την επαγγελματική έκθεση σε "ελεγχόμενο" περιβάλλον.

Το βασικό όριο έκθεσης για την ακτινοβολία RF είναι 0,4 W/kg και το SAR υπολογίζεται κατά μέσο όρο σε διάρκεια 6' στο ελεγχόμενο περιβάλλον. Στο ανεξέλεγκτο περιβάλλον, το SAR που υπολογίζεται κατά μέσο όρο θα είναι λιγότερο από 0,08 W/kg. Το SAR μπορεί να είναι υψηλότερο από τις προαναφερθείσες τιμές για μια μικρή χρονική περίοδο εφ' όσον ο χρόνος των 6' δεν υπερβαίνει το μέσο όρο. Το όριο 0,4 W/kg έχει τεθεί ως στόχος προκειμένου να αποφευχθεί η φόρτωση του θερμοστατικού συστήματος του σώματος. Οι δοκιμές που γίνονται σε ζώα, προτείνουν ότι το μικρότερο επίπεδο SAR που προκαλεί ανιχνεύσιμα αποτελέσματα στο θερμοστατικό σύστημα είναι περίπου 1 W/kg. Για τη σύγκριση, στη μεταβολή της θέρμανση η δύναμη ανά μαζική μονάδα που παράγεται από ένα ανθρώπινο σώμα είναι 1–1,4 W/kg όταν αναπαύεται και 10 W/kg σε μια ακραία σωματική άσκηση. Το μέσο όριο SAR ολόκληρου του σώματος για το ευρύ κοινό είναι 0,08 W/kg στη θεωρία, εάν το βάρος του τηλεφωνικού χρήστη είναι λιγότερο από 10 κιλά. Στην πράξη, είναι απίθανο τα πρόσωπα που ζυγίζουν τόσα λίγα κιλά δεν μπορούν να χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα. Το κύριο πρόβλημα είναι ότι το τοπικό SAR στο κεφάλι του χρήστη που προκαλείται από το κινητό τηλέφωνο, πρέπει να περιοριστεί για να αποτρέψει την τοπική αύξηση της θερμοκρασίας.

#### 4.2 ΌΡΙΑ ΕΚΘΕΣΗΣ

Τα όρια έκθεσης για τις τοπικές μέγιστες τιμές SAR παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Οι τιμές που παρουσιάζονται στον πίνακα χρησιμοποιούνται για το κεφάλι και τον κορμό. Το τοπικό μέγιστο SAR στα άκρα μπορεί να είναι δύο φορές περισσότερο. Όπως μπορεί να φανεί, το μέγιστο SAR σε ελεγχόμενο περιβάλλον ποικίλλει μεταξύ 8 –10 W/kg. Σύμφωνα με τις διεθνή και ευρωπαϊκές συστάσεις (CENELEC 1995, ICNIRP 1996, ICNIRP 1998), το SAR που υπολογίζεται κατά μέσο όρο πάνω από 10 γ δεν θα υπερβεί τα 2 W/kg στο ανεξέλεγκτο περιβάλλον. Όσον αφορά τη Φινλανδία, αυτό είναι το σημαντικότερο διεθνές πρότυπο ασφάλειας που περιορίζει την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα κινητά τηλέφωνα. Ελαφρώς αυστηρότερα όρια εφαρμόζονται στις Ηνωμένες Πολιτείες: Το όριο έκθεσης είναι 1.6 W/kg κατά μέσο όρο στο ανεξέλεγκτο περιβάλλον.

Η δύναμη τομέων ή τα ισοδύναμα επίπεδα πυκνότητας ισχύος που προέρχονται από τα όρια SAR μπορεί να εφαρμοστούν όταν η

## ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΤΡΟΠΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

ακτινοβολούσα συσκευή ή η κεραία είναι αρκετά μακριά (βλ. πίνακα II). Η ασφάλεια για την ακτινοβολία των φορητών τηλεφώνων, των τηλεφώνων στα αυτοκίνητα, και των σταθμών βάσεων, μπορεί να εξεταστεί με τη χρησιμοποίηση αυτών των επιπέδων. Η ελάχιστη λειτουργική απόσταση που επιτρέπει τη χρήση των ορίων τομέας-δύναμης είναι 20 εκατ. σύμφωνα με τη FCC (1996).

### 4.3 ΕΠΙΤΡΟΠΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

#### 4.3.1 IRPA και ICNIRP

Το 1988, η Διεθνής μη-Ιοντίζουσα Επιτροπή Ακτινοβολίας (International Non-Ionizing Radiation Commission ) (INIRC) της Διεθνής Ένωσης Προστασίας από τη ραδιενέργεια (International Radiation Protection Association ) (IRPA) πρότεινε συστάσεις για την έκθεση στην ακτινοβολία RF στο φάσμα συχνότητας επάνω από 100 kHz (IRPA/ INIRC 1988). Το 1998 ο διάδοχος της IRPA και INIRC, η Διεθνής Επιτροπή μη-Ιοντίζουσας ακτινοβολίας (ICNIRP) δημοσίευσε νέους οδηγούς ασφάλειας που καλύπτουν όλα τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία στο φάσμα συχνότητας από 1 Hz έως 300 GHz.

Η σημαντικότερη αλλαγή από τις συστάσεις του 1998, για την ασφαλέστερη ακτινοβολία των φορητών κινητών τηλεφώνων, ήταν η υιοθέτηση του ορίου των 2 W/kg για το ευρύ κοινό, το οποίο δεν περιλαμβανόταν στις παλαιές οδηγίες. Τα επίπεδα της πυκνότητας ισχύος στις κινητές ζώνες συχνότητας θα είναι τα ίδια όπως στις παρούσες οδηγίες.

Organization	Year	Status	Specific absorption rate (SAR) <sup>a</sup> [W/kg]		Averaging		Frequency
			General Public	Controlled environment	Time (min)	Mass (g)	
IRPA	1988	Recommendation	-	10	6	100	10 MHz–3
STM	1990	National regulation	-	10	6	-	10 MHz–3
IEEE	1992	National standard	1.6 <sup>b</sup>	8 <sup>c</sup>	-	1	100 kHz–6
CEC	1994	Directive proposal	-	10	6	100	100 kHz–3
CENELEC	1995	Standard	2	10	6	10	10 kHz–30
ICNIRP	1996	Statement	2	10	6	10	not availa
FCC	1996	National regulation	1.6 <sup>d</sup>	8	-	1	not availa
ICNIRP	1998	Recommendation	2	10	6	10	100 kHz–1

IRPA: International Radiation Protection Association  
 STM: Ministry of Social Affairs and Health, Finland  
 IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA  
 CEC: Commission of the European Communities  
 CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization  
 ICNIRP: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection  
 FCC: Federal Communications Commission, USA

<sup>a</sup> twofold SAR allowed in hands and legs  
<sup>b</sup> averaged over any 30 minutes in 3–3000 MHz  
<sup>c</sup> averaged over any 6 minutes  
<sup>d</sup> averaged over the pulse period

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Τα όρια έκθεσης για το τοπικό SAR.

	Power density (W/m <sup>2</sup> )									
	General Public					Controlled environment				
	150 MHz	450 MHz	900 MHz	1,800 MHz	Averaging time (min)	150 MHz	450 MHz	900 MHz	1,800 MHz	
IRPA	2	2.3	4.5	9	6	10	11.3	22.5	45	
STM	2	2.3	4.5	9	6	10	11.3	22.5	45	
IEEE	2	3	6	12	30	10	15	30	60	
CEC <sup>a</sup>	-	-	-	-	-	10	11.3	22.5	45	
CENELEC	2	2.3	4.5	9	6	10	11.3	22.5	45	
FCC	2	3	6	12	30	10	15	30	60	
ICNIRP	2	2.3	4.5	9	6	10	11.3	22.5	45	

<sup>a</sup>Action levels

Πίνακας II . Παραγόμενα επίπεδα αναφοράς για την πυκνότητα ισχύος στις κινητές συχνότητες.

#### 4.3.2 CENELEC

Η ευρωπαϊκή Επιτροπή για την ηλεκτροτεχνική τυποποίηση έχει εκδώσει το Ευρωπαϊκό πρότυπο : "Ανθρώπινη έκθεση στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία: Υψηλή συχνότητα "(CENELEC 1995). Δεν υπάρχει καμία σημαντική διαφορά μεταξύ του πρότυπου αυτού και των νέων οδηγιών της ICNIRP στις συχνότητες πάνω από τα 100 kHz. Το πρότυπο αυτό είναι αποτελεσματικό για τρία έτη.

Μια ομάδα εργασίας της CENELEC, ανατέθηκε από την Ε.Ε να προετοιμάσει μια τεχνική έκθεση σχετικά με την ασφάλεια της ακτινοβολίας των κινητών τηλεφώνων στο φάσμα συχνότητας από 30MHz έως 6GHz (CENELEC 1998). Σκοπός της έκθεσης αυτής ήταν να εναρμονιστούν οι ευρωπαϊκές εξεταστικές μέθοδοι της ασφάλειας ακτινοβολίας από τον εξοπλισμό τηλεπικοινωνιών. Αν και αυτή η έκθεση ήταν μόνο ένα τεχνικό δεδομένο, μετατράπηκε σε ένα τυποποιημένο έγγραφο αποκαλούμενο "Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές ". Σύμφωνα με το έγγραφο, η δοκιμή SAR μπορεί να εκτελεσθεί είτε από τις μετρήσεις είτε τους υπολογισμούς, αλλά σε καθεμία περίπτωση, η ισχύς της μεθόδου πρέπει να ελεγχθεί προσεκτικά. Ένα ανατομικό φάντασμα γεμισμένο με διαμορφωμένο ομοιογενές υγρό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις μετρήσεις. Τα φορητά τηλέφωνα είναι δοκιμασμένα σε μια στερεότυπη θέση (προοριζόμενη θέση χρήσης) και τρεις πρόσθετες θέσεις που διευκρινίζονται καλά. Η δύναμη και η τοποθέτηση των κεραιών του τηλεφώνου πρέπει να τεθούν έτσι ώστε το SAR να είναι στο μέγιστο. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει μια πρακτική δοκιμή που είναι λιγότερο περιοριστική από τη μη ρεαλιστική περίπτωση. Τα κινητά τηλέφωνα εξετάζονται στην ελάχιστη λειτουργική απόσταση συστημένη από τον κατασκευαστή, ή στην απόσταση των 5 εκατ. SAR εάν η μέση δύναμη παραγωγής του τηλεφώνου είναι κάτω από 20 mW.

### 4.3.3 FCC

Για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της ακτινοβολίας της ραδιοσυχνότητας, η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Ανακοινώσεων (Federal Communications Commission ) (FCC), στις ΗΠΑ, έχει εκδώσει οδηγίες για τα κινητά τηλέφωνα. Η πυκνότητα ισχύος πρέπει να μην υπερβαίνει τα επίπεδα αναφοράς (πίνακας II) που συστήνονται από NRCP (το Εθνικό Συμβούλιο σχετικά με την προστασία από τη ραδιενέργεια και τις μετρήσεις) . Πρέπει να σημειωθεί ότι αν και ο υπολογισμένος κατά μέσο όρο χρόνος της πυκνότητας ισχύος είναι 30 λεπτά, η FCC συστήνει, παράλληλα με τις ευρωπαϊκές συστάσεις, για τα κινητά τηλέφωνα που χρησιμοποιούνται από το ευρύ κοινό, ο υπολογισμένος κατά μέσο όρο χρόνος πρέπει να είναι ίσος με μια επαναληπτική περίοδο σφυγμού. Σύμφωνα με τη FCC, το SAR που προκαλείται με ΚΤ δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το τοπικό μέγιστο SAR 1,6 W/kg . Οι μόνες πληροφορίες που δίνονται για την εξεταστική διαδικασία είναι ότι το SAR πρέπει να καθοριστεί στην προοριζόμενη θέση χρήσης είτε από τις αριθμητικές προσομοιώσεις είτε από τις μετρήσεις. Οι κανονισμοί της FCC εμφανίζονται ακριβέστεροι από τις συστάσεις CENELEC λόγω του χαμηλότερου ορίου SAR και μικρότερη υπολογιζόμενη κατά μέσο όρο μάζα. Εντούτοις, η διαφορά μπορεί πραγματικά να είναι μικρότερη από ότι εμφανίζεται. Οι SAR εξεταστικές θέσεις καθορίζονται ακριβέστερα στο έγγραφο της CENELEC απ' ό,τι στους κανονισμούς της FCC. Επομένως, στις δοκιμές CENELEC το μέγιστο SAR καθορίζεται μέσα από κάποια ασυνήθιστη λειτουργική θέση με συνέπεια υψηλότερο SAR απ' ό,τι στις δοκιμές της FCC.

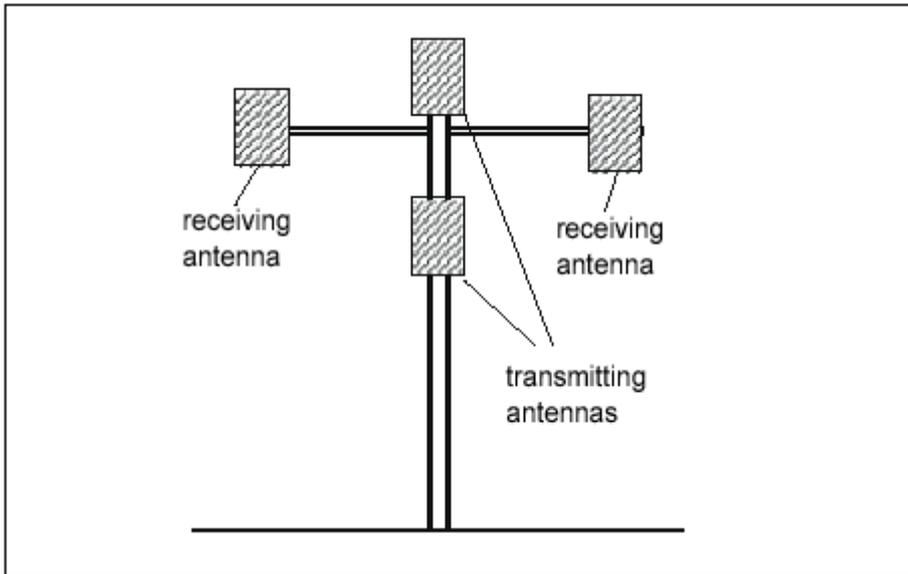
## 4.4 Η ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΒΑΣΕΩΝ

### 4.4.1 Τοποθέτηση των σταθμών βάσεων

Στις αγροτικές περιοχές, οι κεραιές των σταθμών βάσεων που χρησιμοποιούνται στα κινητά τηλεφωνικά δίκτυα είναι συνήθως τοποθετημένες στο ύψος δεκάδων μέτρων συνήθως στην κορυφή βουνού . Στις αστικές περιοχές, οι κεραιές τοποθετούνται σε 2 –4 μέτρα ύψους στις στέγες των κτιρίων. Σε αυτήν την περίπτωση η απόσταση της κεραίας από το έδαφος ποικίλλει από 20 έως 45 μέτρα . Ένα παράδειγμα του πως τοποθετείτε η κεραία σταθμών βάσεων παρουσιάζεται στη Figure 8. Οι κεραιές είναι τοποθετημένες με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να υπάρχει ένα ελεύθερο διάστημα τουλάχιστον 30 μ στην κατεύθυνση του κεντρικού αγωγού ακτίνας. Χαρακτηριστικά, αυτό το διάστημα επεκτείνεται μέχρι διάφορες εκατοντάδες μέτρα που εξασφαλίζουν την κατάλληλη λειτουργία του τηλεφωνικού δικτύου. Μπορούν να τοποθετηθούν στους τοίχους ή στις στέγες εφ' όσον είναι τοποθετημένος τουλάχιστον 2 μέτρα επάνω από το

## ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΤΡΟΠΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

πάτωμα. Κανονικά, τοποθετούνται εκεί όπου άνθρωποι δεν εργάζονται ή δεν μένουν άτομα τουλάχιστον 3 μέτρα από την κεραία. Συνήθως, οι καθοδηγητικές κεραίες αποτελούνται από λίγα οριζόντια δίπολα και έναν ανακλαστήρα πίσω τους. Οι πανκατευθυντικές κεραίες από ένα κάθετο δίπολο ή από μονοπολικές κεραίες.



**Σχήμα 8.** Μια στέγη τοποθέτησε τον ιστό κεραιών σταθμών βάσης

### 4.4.2 Αποστάσεις ασφάλειας

Η πυκνότητα ισχύος που παράγεται από μια κεραία σταθμών βάσεων εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες: η απόσταση και η κατεύθυνση της κεραίας, ο αριθμός και η δύναμη παραγωγής των συσκευών αποστολής σημάτων, ο αριθμός των καναλιών που είναι σε χρήση, και των απωλειών από τα καλώδια και τα συστατικά μεταξύ της κεραίας και της συσκευής αποστολής σημάτων. Η δύναμη της πυκνότητας  $S$  στην κατεύθυνση της κύριας ακτίνας μπορεί να υπολογιστεί ως λειτουργία της απόσταση  $r$  από

$$S = \frac{NP \cdot 10^{\frac{G-L}{10}}}{4\pi r^2} \quad (5)$$

όπου το  $N$  είναι ο αριθμός των συσκευών αποστολής σημάτων, το  $P$  είναι η δύναμη παραγωγής της ενιαίας συσκευής αποστολής σημάτων, το  $G$  είναι το κέρδος της κεραίας, και το  $L$  είναι η συνδυασμένη απώλεια από το καλώδιο, το θραύστη δύναμης, κ.λπ. ,σε dB. Με την αντικατάσταση της πυκνότητας ισχύος εξίσωση (5) μαζί με την αξία αναφοράς  $S_{max}$  από τα πρότυπα έκθεσης και επιλύοντας για το  $r$  παίρνουμε την απόστασης ασφάλειας  $r_{saf}$

ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΤΡΟΠΕΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

$$r_{saf} = \sqrt{\frac{NP \cdot 10^{-\frac{G-L}{10}}}{4\pi S_{ref}}} \quad (6)$$

Οι αποστάσεις ασφάλειας για τις φινλανδικές κεραιές σταθμών βάσεων, έχουν υπολογιστεί πάνω στη βάση των τεχνικών πληροφοριών που δίνονται από τους χειριστές δικτύων (πίνακας II). Επίσης, τα εθνικά όρια έκθεσης για την πυκνότητα ισχύος σε ελεγχόμενο περιβάλλον και για το ευρύ κοινό στις συχνότητες 450, 900 και 1.800 MHz, σύμφωνα με τη διαταγή STMr 1474/91 από το Υπουργείο Κοινωνικών Υποθέσεων και υγείας, παρουσιάζεται στον πίνακα II. Τα επίπεδα πυκνότητας ισχύος για το ευρύ κοινό δεν υπερβαίνουν την απόσταση 10 μ από την κεραιά ακόμη και στην κατεύθυνση από την κύρια ακτίνα. Η κύρια ακτίνα των κεραιών που χρησιμοποιούνται υπαίθρια είναι συνήθως πολύ στενή σε κάθετο επίπεδο. Για αυτόν τον λόγο, οι αποστάσεις ασφάλειας είναι πολύ μικρές στις κατευθύνσεις μακριά από την κύρια ακτίνα, όπως στην περίπτωση NMT900 και σταθμών βάσεων GSM900 για 1 μ ή λιγότερο όπως και στην περίπτωση της βάσης NMT450 σταθμών. Σύμφωνα με τις μετρήσεις που εκτελούνται από τη ζώνη συχνότητας στα 900 MHz, οι αποστάσεις ασφάλειας σε όλες τις κατευθύνσεις, εκτός από την κατεύθυνση της κύριας ακτίνας, ήταν σε μέγιστο 1 μ για το ευρύ κοινό και 0,5 μ για το ελεγχόμενο περιβάλλον.

Base station type				Controlled environment			General public		
	$P_{max}$ [W]	G [dB]	$L_{min}$ [dB]	$S_{max}$ [W/m <sup>2</sup> ]	Main beam $r_{saf}$ [m]	Side-lobe $r_{saf}$ [m]	$S_{max}$ [W/m <sup>2</sup> ]	Main beam $r_{saf}$ [m]	Side-lobe $r_{saf}$ [m]
NMT450	320	11	3	11.3	3.8	1.4	2.3	8.5	3
NMT900 outdoors	64	18.5	2	22.5	3.2	<0.6	4.5	7.2	1.1
indoors	10	10	2	22.5	<0.6	<0.6	4.5	1.1	<0.6
GSM900 outdoors	80	18.5	5	22.5	2.6	<0.6	4.5	5.7	0.9
indoors	30	5.5	5	22.5	0.4	<0.3	4.5	0.8	0.6
GSM1800 outdoors	50	18	5	45	1.4	<0.3	9	3	0.5
indoors	30	5.5	5	45	0.3	<0.3	9	0.6	0.4

$P_{max}$  = The combined peak output power of the transmitters feeding the common antenna  
G = The antenna gain  
 $L_{min}$  = The minimum loss between the antenna and the transmitter  
 $S_{max}$  = Derived reference levels for power density  
 $r_{saf}$  = The safety distance, e.g. the greatest distance at which the reference level is exceeded

**Πίνακας III.** Υπολογισμένες αποστάσεις ασφάλειας για τους χαρακτηριστικούς Φινλανδικούς σταθμούς βάσεις .

#### 4.5 ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΑΚΙΝΔΥΝΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Για να αποφευχθεί η υπερβολική έκθεση στα κινητά τηλέφωνα και στους σταθμούς βάσεων συστήνονται κάποια μέτρα ασφάλειας :

1. Για τα κινητά τηλέφωνα το τοπικό μέγιστο SAR που υπολογίζεται κατά μέσο όρο πρέπει να μην υπερβαίνει τα 10 W/kg στο ελεγχόμενο περιβάλλον και 2 W/kg στις περιοχές που είναι προσιπές στο ευρύ κοινό.

2. Για τα κινητά τηλέφωνα η ισοδύναμη πυκνότητα ισχύος δεν πρέπει να υπερβεί μια απόσταση 20 εκατ. τα ισοδύναμα όρια πυκνότητας ισχύος που δίνονται, τα διατάξετε το STMr 1474/91 του Υπουργείου κοινωνικών υποθέσεων και υγείας, Φινλανδία. Τα ραδιοτηλέφωνα σε επαγγελματική χρήση πρέπει να είναι σύμφωνα με τα όρια πυκνότητας ισχύος που παράγονται για το ελεγχόμενο περιβάλλον ενώ τα τηλέφωνα που χρησιμοποιούνται από το ευρύ κοινό πρέπει να είναι σύμφωνα με τα όρια πυκνότητας που παράγονται για το ανεξέλεγκτο περιβάλλον. Εάν η συσκευή δεν είναι σύμφωνα με τα όρια σε μια απόσταση 20 εκατ., η ελάχιστη λειτουργική απόσταση πρέπει να δοθεί από το λειτουργικό εγχειρίδιο ή από την ασφάλεια της συσκευή που πρέπει να εξασφαλιστεί από την αξιολόγηση του SAR στην προοριζόμενη θέση.

3. Τα πρόσωπα που εξοπλίζονται με έναν καρδιακό βηματοδότη δεν πρέπει να χρησιμοποιούν τα κινητά τηλέφωνα εκτός αν η ασυλία του βηματοδότη στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον τύπο του κινητού τηλέφωνου που χρησιμοποιείται έχει βεβαιωθεί. Γενικά ο χρήστης με βηματοδότης πρέπει να ενθαρρυνθεί για να αποφύγει τις θέσεις όπου η παρέμβαση των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων είναι δυνατή.

4. Η κεραία βάση-σταθμών πρέπει να εγκατασταθεί έτσι ώστε η πυκνότητα ισχύος στα όρια για το ανεξέλεγκτο περιβάλλον δεν ξεπερνιούνται σε ισχύ που είναι προσιτή στο ευρύ κοινό. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι αποστάσεις ασφάλειας της κατεύθυνση της κύριας ακτίνας είναι 2 μ για τις εσωτερικές κεραίες και 10 μ για υπαίθριες κεραίες. Πρέπει να εξασφαλιστεί ότι τα όρια πυκνότητας ισχύος για το ελεγχόμενο περιβάλλον δεν πρέπει να υπερβαίνουν κατά λειτουργία στην εγγύτητα από τις κεραίες σταθμών βάσεων. Η απόσταση ασφάλειας στην εγγύτητα μιας υπαίθριας κεραίας είναι χαρακτηριστικά δύο μέτρα . Μια στηριγμένη στον ιστό κεραία μπορεί να περάσουν γρήγορα, αλλά τα στοιχεία κεραιών δεν πρέπει να αγγιχτούν . Μια ικανοποιητική απόσταση ασφάλειας για τις εσωτερικές κεραίες είναι 1 μ στις περισσότερες περιπτώσεις.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η εξέλιξη και η εξάπλωση της κινητής τηλεφωνίας τα τελευταία χρόνια υπήρξε τόσο ραγδαία, που τα κινητά τηλέφωνα (ΚΤ) συνιστούν πλέον αναπόσπαστο μέρος της καθημερινής μας ζωής. Με την τόσο μεγάλη εξέλιξη όμως γεννάται το ερώτημα αν η κινητή τηλεφωνία εμπεριέχει κινδύνους για την υγεία μας.

Η κοινή γνώμη παραμένει ιδιαίτερα θορυβημένη από το ερώτημα για το αν η ακτινοβολία που εκπέμπουν τα ΚΤ μπορεί να προκαλέσει καρκίνους και ειδικότερα όγκους του εγκεφάλου, επειδή προφανώς η έκθεση επικεντρώνεται στην περιοχή της κεφαλής κοντά στο αυτί. Έχουν γίνει και συνεχίζουν να δημοσιεύονται πολλές επιδημιολογικές μελέτες για το θέμα αυτό, από μεμονωμένους ερευνητές, αλλά και από διάφορους διεθνείς οργανισμούς. Τέτοιου είδους μελέτες έχουν από τη φύση τους ένα μειονέκτημα, δεδομένου ότι μόνο αναδρομικά μπορούν να μελετήσουν την επίδραση μιας νόσου. Αν λάβουμε λοιπόν υπόψη ότι αφενός η κινητή τηλεφωνία είναι μια σχετικά νέα εφαρμογή και αφετέρου η εκδήλωση καρκίνου απαιτεί αρκετό χρόνο, συνήθως περίπου μια εικοσαετία, τότε χρειάζεται να περάσει αρκετός καιρός προκειμένου να διαπιστωθεί με απόλυτη σιγουριά αν τα ΚΤ προκαλούν καρκίνο. Πάντως μεγάλες στατιστικές μελέτες σε πληθυσμούς διαφόρων κρατών δεν αποδεικνύουν ότι η ακτινοβολία των ΚΤ προκαλεί καρκίνο, ούτε στον εγκέφαλο ούτε κάπου αλλού.