



Βιοφυσική

Ενότητα 7

Μαρκοπούλου Μυρσίνη
Γεωργακίλας Αλέξανδρος



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

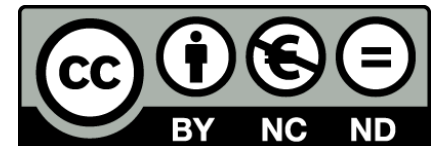


ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Άδεια Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης *Creative Commons*. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άδεια χρήσης άλλου τύπου, αυτή πρέπει να αναγράφεται ρητώς.





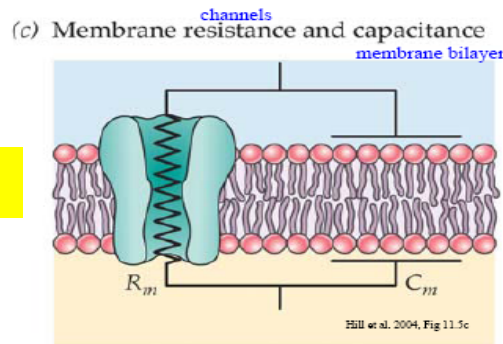
Εισαγωγή - Ιστορική αναδρομή



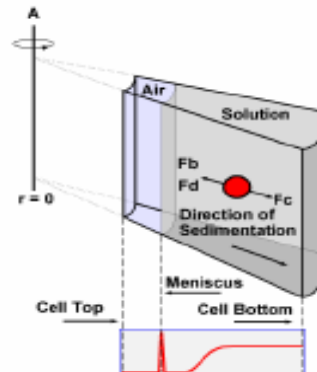
Η Βιοφυσική είναι ο κλάδος εκείνος των φυσικών επιστημών που ασχολείται με:

- 1) τη μελέτη των φυσικών φαινομένων που υπεισέρχονται στη δομή, οργάνωση και λειτουργία των βιολογικών συστημάτων,
- 2) τη χρησιμοποίηση των αρχών και μεθόδων της Φυσικής στην έρευνα των φαινομένων της ζωής,
- 3) τη μελέτη των βιολογικών αποτελεσμάτων από την επίδραση των φυσικών παραγόντων στην έμβια ύλη.

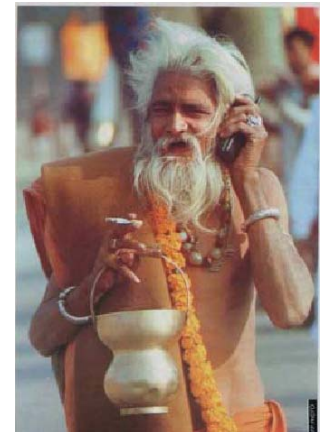
1)



2)



3)



✧ Επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος



Μπορούμε να διακρίνουμε δύο τρόπους βλαπτικής επίδρασης της ηλεκτρικής ενέργειας στο ανθρώπινο σώμα.

❖ Ο πρώτος τρόπος προϋποθέτει την **κυκλοφορία ρεύματος μέσα από τον ανθρώπινο οργανισμό**. Για να συμβεί αυτό, δεν είναι πάντα απαραίτητο να έρθει σε φυσική επαφή το σώμα με ηλεκτρισμένα τμήματα του δικτύου, μολονότι αυτή είναι η συνηθέστερη περίπτωση. Για παράδειγμα, σε εγκαταστάσεις υψηλών τάσεων είναι δυνατό να συμβεί υπερπήδηση με ηλεκτρικό τόξο, μεταξύ τμημάτων υπό τάση και του χειριστή, όταν ο τελευταίος πλησιάσει κοντύτερα από μια ελάχιστη απόσταση.

❖ Ο δεύτερος τρόπος αφορά **«εκρηκτικές» αποδεσμεύσεις ηλεκτρικής ενέργειας**. Τέτοιες βλάβες προκύπτουν από την εκφόρτιση πυκνωτών, τις κεραυνοπληξίες και τις δευτερογενείς προσβολές από ηλεκτρικά τόξα (προσβολή από εκτινασσόμενα υπέρθερμα αέρια και θραύσματα εξοπλισμού).

Ηλεκτροπληξία. Η ηλεκτροπληξία, η επίδραση της ηλεκτρικής ενέργειας στο ανθρώπινο σώμα, συνοδεύεται από ένα πλήθος φυσικών, χημικών και βιολογικών φαινομένων. Τα φυσικοχημικά φαινόμενα περιλαμβάνουν την θέρμανση των ιστών (**φαινόμενο Joule**) και, στην περίπτωση του συνεχούς ρεύματος, την **ηλεκτρόλυση** των σωματικών υγρών. Τα βιολογικά φαινόμενα είναι πολυπλοκότερα, πολυπληθέστερα και τα πλέον επικίνδυνα. Σε αυτά περιλαμβάνονται παράλυση μυών, καταστροφή οργάνων και θανατηφόρες βλάβες.

⚡ Επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος



Το ηλεκτρικό ρεύμα έχει τρεις κύριους τρόπους δράσης στο ανθρώπινο σώμα: την ηλεκτρόλυση, τη μετατροπή σε θερμότητα και την διέγερση νευρών και μυών.

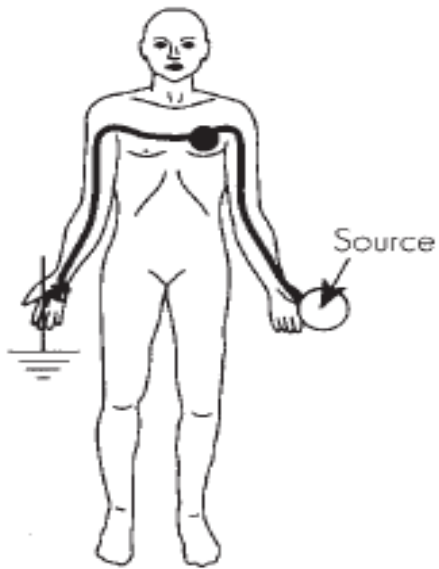
Ηλεκτρόλυση: Ως γνωστόν η ηλεκτρόλυση προκαλείται κατά τη δίοδο συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος σε μέσο που περιέχει ελεύθερα ιόντα.

☀️ Γενικά στον άνθρωπο δεν επιτρέπεται δίοδος συνεχούς ρεύματος με ένταση μεγαλύτερη από 10 μA . Αυτό δεν σημαίνει ότι το ρεύμα των 10 μA είναι ασφαλές, αφού αν περάσει για λίγα λεπτά μέσα από το δέρμα προκαλεί έλκη στα σημεία επαφής των ηλεκτροδίων.

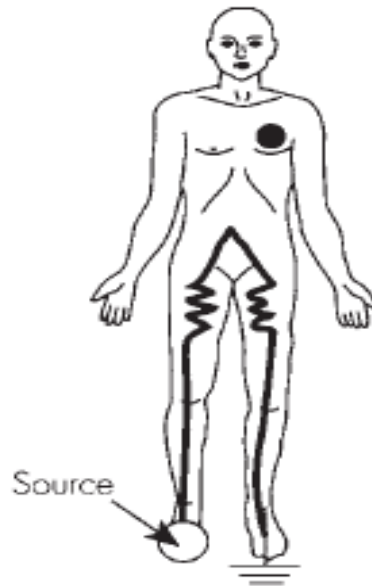
Μετατροπή ρεύματος σε θερμότητα: Τα υψίσυχνα εναλλασσόμενα ρεύματα δημιουργούν επιδερμικά φαινόμενα, δηλαδή διέρχονται από το δέρμα και μετατρέπονται σε θερμότητα. Τη δράση αυτή του υψίσυχνου ρεύματος αξιοποιούν οι ηλεκτροχειρουργικές διαθερμίες και οι διαθερμίες στη φυσιοθεραπεία.

Διέγερση νευρών και μυών: Το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί διέγερση νευρών και μυών, η οποία διέγερση προκαλεί είτε πόνο, είτε σύσπαση μυών (ηλεκτροπληξία).

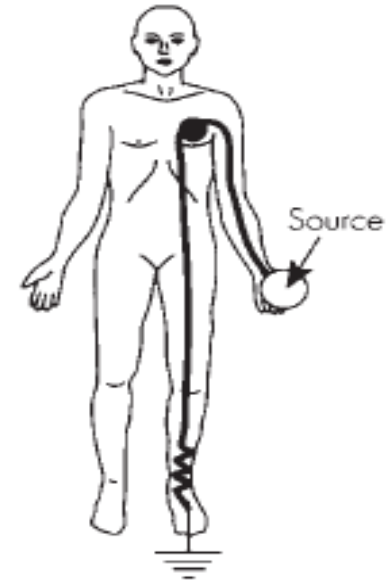
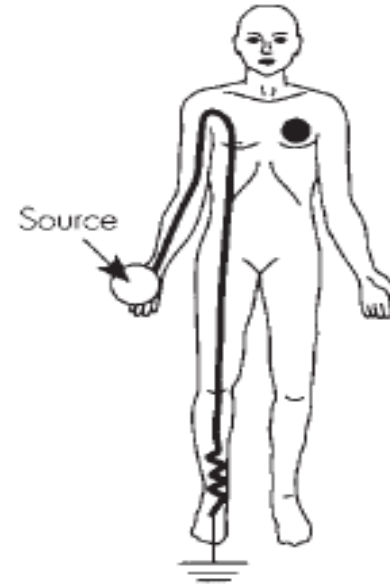
❖ Τα σωματικά αποτελέσματα της ηλεκτροπληξίας είναι ανάλογα με την **ένταση του ρεύματος**, τη **διαδρομή** του στο σώμα και τη **διάρκεια ροής** του. Αν π.χ. περάσει από την καρδιά, η βιο-ηλεκτρική δραστηριότητα του μυοκαρδίου διαταράσσεται και μπορεί να προκληθεί κολπική μαρμαρυγή ή ινιδισμός των κοιλιών, με αποτέλεσμα κάποια προσωρινή βλάβη ή το θάνατο του ανθρώπου.



(A) Touch Potential



(B) Step Potential



(C and D) Touch/Step Potential

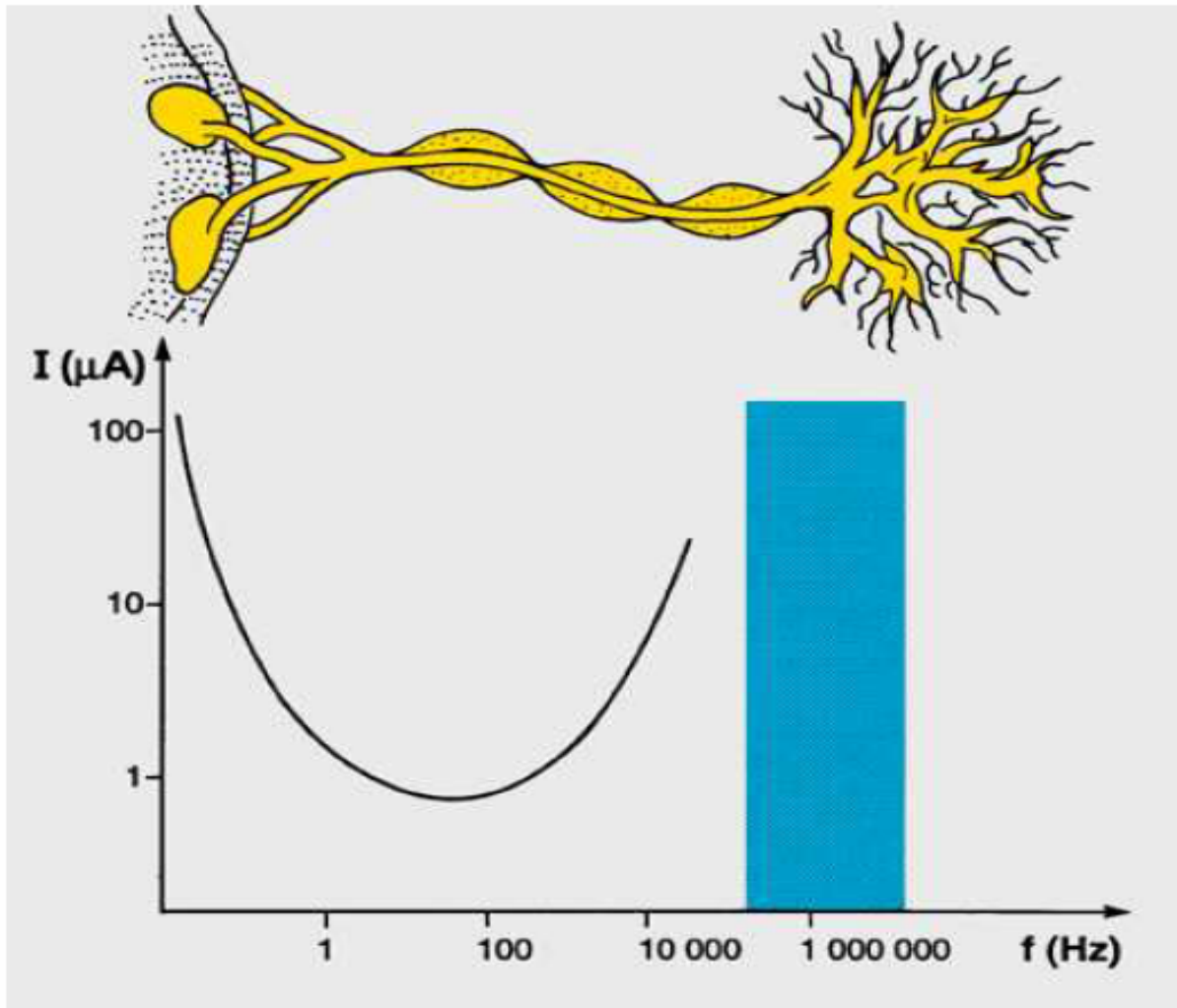
Ποιά διαδρομή ρεύματος είναι η πλέον επικίνδυνη;

Ποιά διαδρομή ρεύματος είναι η πλέον επικίνδυνη;



όδευση ρεύματος	συντελεστής ρεύματος καρδιάς F
Από το αριστερό χέρι προς το αριστερό πόδι ή προς το δεξί πόδι ή προς τα δύο πόδια	1,0
Από τα δύο χέρια προς τα δύο πόδια	1,0
Από το ένα χέρι προς το άλλο	0,4
Από το δεξί χέρι προς το αριστερό πόδι ή προς το δεξί πόδι ή προς τα δύο πόδια	0,8
Από την πλάτη προς το δεξί χέρι	0,3
Από την πλάτη προς το αριστερό χέρι	0,7
Από το στήθος προς το δεξί χέρι	1,3
Από το στήθος προς το αριστερό χέρι	1,5
Από τους γλουτούς προς το αριστερό χέρι ή από το δεξί χέρι προς τα δύο πόδια	0,7

Stimulus effect



Pulsating electrical current e.g. d.c. pulses or low-frequency currents (including mains supply frequencies) have a stimulating effect on nerve and muscle cells. The origin lies in a stimulation of the standard ion exchange in the human body that is responsible for the physiological transmission of stimulus. Stimulation of this kind leads to a spasm in the muscle that can extend to extra-systole and ventricular fibrillation.

✧ Επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος



✉ Τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος των 50 Hz εξαρτώνται από την ένταση του ρεύματος και διακρίνονται στις παρακάτω περιοχές εντάσεων:

➤ **0,5 - 1 mA:** Το ρεύμα γίνεται μόλις αντιληπτό, προκαλεί ασθενείς μυϊκές συσπάσεις. Το κατώφλι αντίληψης του ρεύματος ($\approx 0,5 \text{ mA}$) ποικίλει από άνθρωπο σε άνθρωπο και ανάλογα με τις συνθήκες μέτρησης (π.χ. υγρασία).

➤ **5 - 15 mA:** Το ρεύμα δημιουργεί ισχυρές (τετανικές) συσπάσεις των σκελετικών μυών, τίναγμα του σώματος και κατά συνέπεια μπορεί να προκληθούν τραυματισμοί και κατάγματα.

➤ **15 - 100 mA:** Προκαλείται έντονος πόνος και αναπνευστική δυσχέρεια, λόγω τετανικών συσπάσεων των αναπνευστικών μυών. Μεγάλη πιθανότητα πρόκλησης αναπνευστικής παράλυσης και ελαφρών εγκαυμάτων.

➤ **100- 500 mA:** Προκαλείται ινιδισμός των κοιλιών, που παραμένει και μετά την επίδραση του ηλεκτρικού ρεύματος, αναπνευστική παράλυση, εξαιρετικά ισχυρές μυϊκές συσπάσεις και σοβαρά εγκαύματα.

➤ **> 500 mA:** Προκαλείται αυτόματη έναρξη της λειτουργίας της καρδιάς μετά την άρση της επίδρασης του ρεύματος (καρδιακή απινίδωση).

⚡ Επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος



➤ **5 - 15 mA:** Το ρεύμα δημιουργεί ισχυρές (τετανικές) συσπάσεις των σκελετικών μυών, τίναγμα του σώματος και κατά συνέπεια μπορεί να προκληθούν τραυματισμοί και κατάγματα.

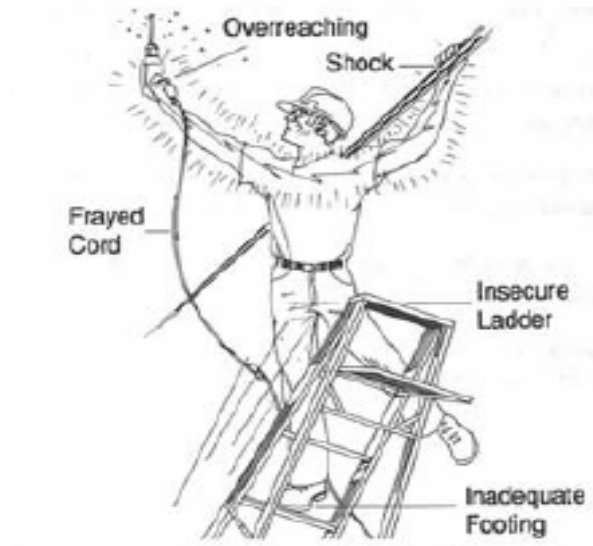




Table III. The Effects of Electrical Current on the Body

Effects	Current, mA					
	Direct Current		Alternating Current			
			60 Hz		10 kHz	
	Men	Women	Men	Women	Men	Women
Slight sensation on hand	1	0.6	0.4	0.3	7	5
Perception "let go" threshold, median	6.2	3.5	1.1	0.7	12	8
Shock - not painful and no loss of muscular control	9	6	1.8	1.2	17	11
Painful shock - muscular control lost by 1/2%	62	41	9	6	55	37
Painful shock - "let-go" threshold, median	76	51	16	10.5	75	50
Painful and severe shock - breathing difficult, muscular control lost	90	60	23	15	94	63

Deleterious Effects of Electric Shock, Charles F. Dalziel

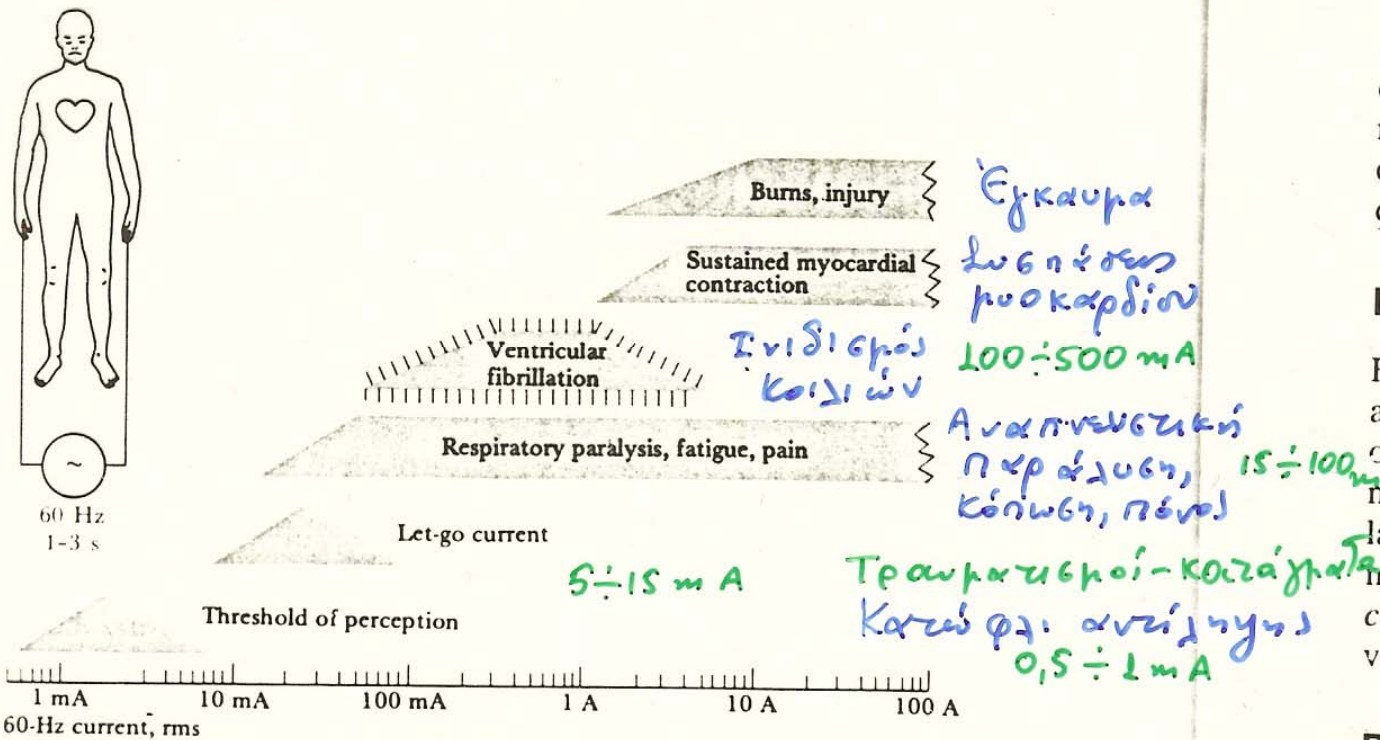


Figure 14.1 Physiological effects of electricity Threshold or estimated mean values are given for each effect in a 70-kg human for a 1- to 3-s exposure to 60-Hz current applied via copper wires grasped by the hands.

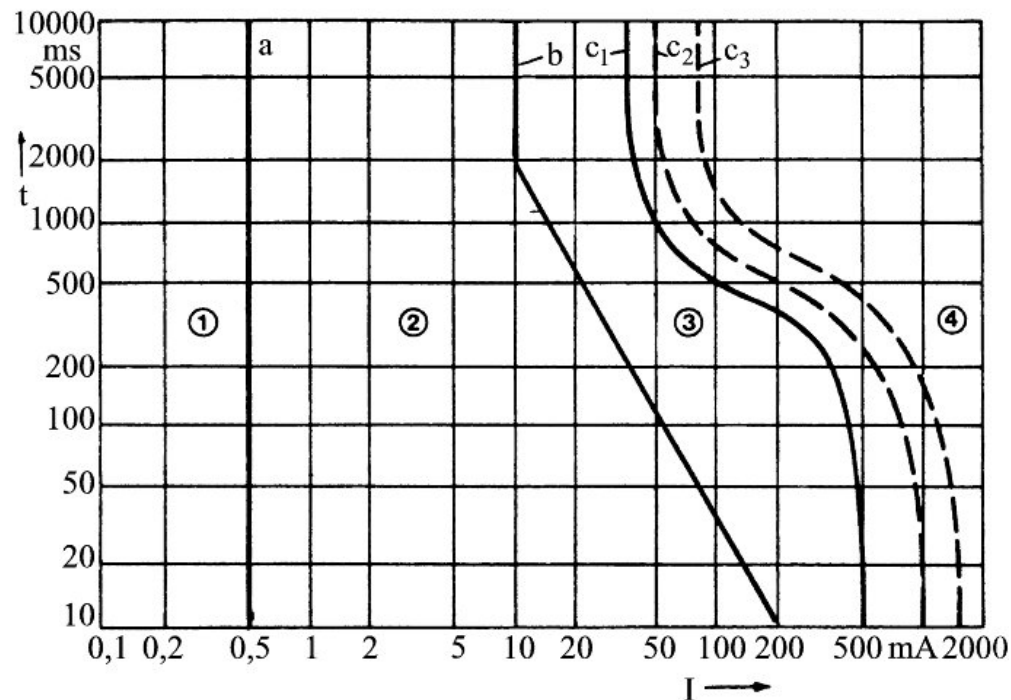
Current a
can detec
measuren
copper wi
dc curren

LET-GO

For highe
and pain
or reflex v
may cause
ladder. As
muscles c
current is
voluntarily

RESPIRA

Still highe
vere enoug
During let



Επίδραση εναλλασσομένου ρεύματος συχνότητας 15 Hz έως 100 Hz στον ανθρώπινο οργανισμό [1]

Ζώνη 1 : Συνήθως καμία αντίδραση οργανισμού

Ζώνη 2 : Συνήθως καμία επιβλαβής φυσιολογική επίδραση

Ζώνη 3 : Συνήθως δεν αναμένεται καμία οργανική βλάβη. Μυϊκή συστολή και δυσκολίες στην αναπνοή. Παροδικές διαταραχές των καρδιακών παλμών

Ζώνη 4 : Πιθανότητα καρδιακής μαρμαρυγής: Κατώφλι μαρμαρυγής καμπύλη c_1 αύξηση πιθανότητας μέχρι περίπου 5% καμπύλη c_2 , μέχρι 50 % καμπύλη c_3 και πάνω από 50 % πέραν της καμπύλης c_3 . Με την αύξηση του ρεύματος και του χρόνου μπορούν να εμφανισθούν καρδιακή ανακοπή, αναπνευστική ανακοπή και σοβαρά εγκαύματα.

Τοπικές επιδράσεις του ρεύματος

Η ηλεκτροπληξία μπορεί να προκαλέσει τριών ειδών εγκαύματα.

1. Εγκαύματα από λάμψη χωρίς να υπάρχει επαφή με το ρεύμα (flash burns). Συνήθως είναι επιφανειακά.
2. Εγκαύματα βολταϊκού τόξου, τα οποία οφείλονται στην επαφή του σώματος με ηλεκτρικό τόξο. Αυτά τα εγκαύματα είναι βαθιά και εντοπισμένα.
3. Εγκαύματα Joule. Θερμικά εγκαύματα λόγω της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα. Συγκρινόμενα με τα κοινά θερμικά εγκαύματα είναι ανώδυνα, προχωρούν συνήθως σε μεγαλύτερο βάθος προκαλώντας νέκρωση των ιστών, οίδημα, σύνδρομο διαμερίσματος και σπάνια ραβδομυόλυση. Υπάρχει τραύμα εισόδου και εξόδου. Το τυπικό σημάδι είναι μια μικρή περιοχή με έλκος, το οποίο έχει φορά προς τα έξω. Οι επιζώντες ιστοί είναι επιρρεπείς σε λοιμώξεις και επέκταση της νέκρωσης.



Βραχίονας με έγκαυμα τρίτου βαθμού από γραμμή υψηλής τάσης.



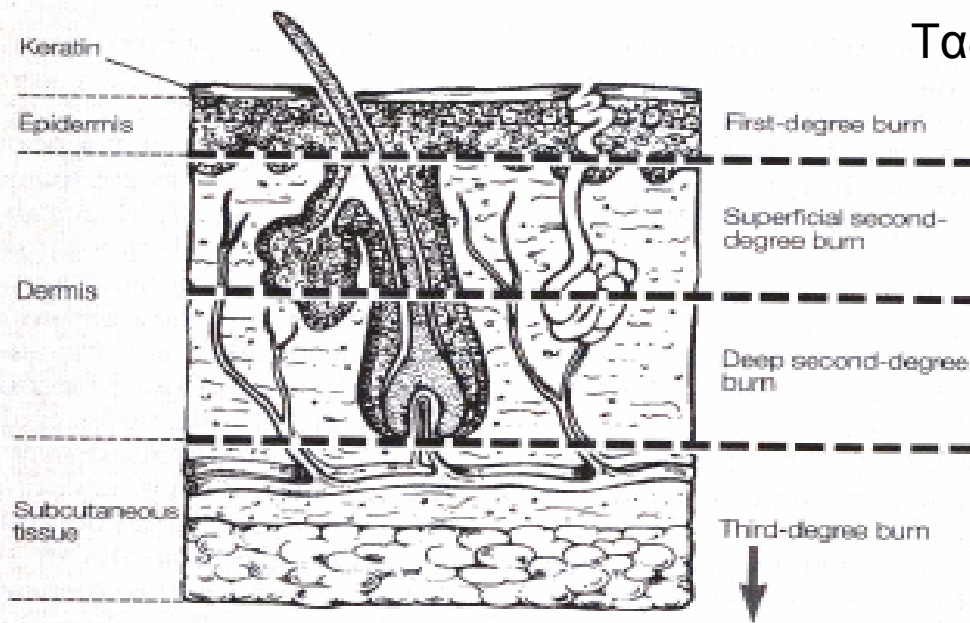
Έγκαυμα από ηλεκτρικό τόξο διαμέσου του παπουτσιού του θύματος και γύρω από την πλαστική σόλα.



Ηλεκτρικά εγκαύματα από άμεση επαφή. Το γόνατο στα αριστερά ήρθε σε επαφή με ηλεκτρισμό και στα δεξιά γειώθηκε.



Ταξινόμηση εγκαυμάτων



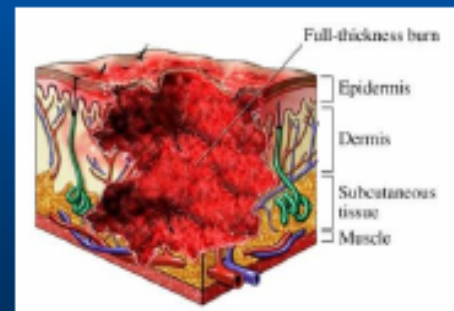
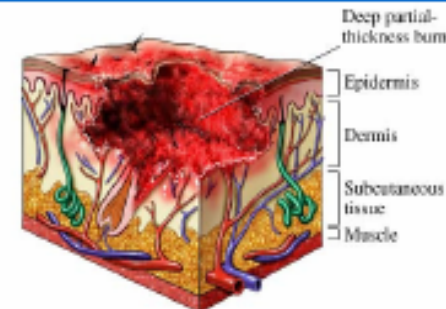
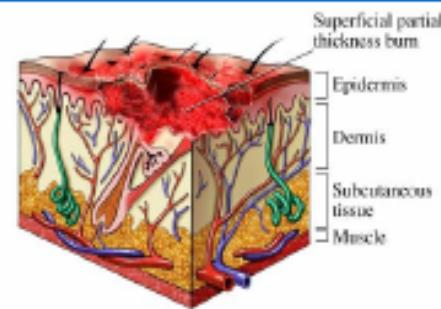
Evaluation and Management of Burns

Adam J. Singer, MD

Professor and Vice Chairman for Research

Department of Emergency Medicine

Stony Brook University



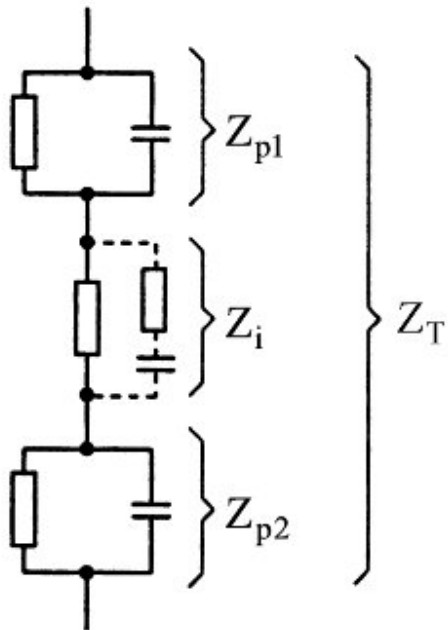
● ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΜΒΙΑ ΥΛΗ

➤ Επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος



Ένταση Πυκνότητας Ρεύματος	Επίδραση στον Άνθρωπο
1000 mA/m ²	Κοιλιακός Ινιδισμός
100 mA/m ²	Διέγερση Μυών και Νεύρων (Αίσθηση λάμψης στο οπτικό νεύρο)
10 mA/m ²	Καμία Επίδραση (Όριο Ευρωπαϊκής Ένωσης για τους επαγγελματικά εκτεθειμένους)
2 mA/m ²	Καμία Επίδραση (Όριο Ευρωπαϊκής Ένωσης για το κοινό)

⚡ Επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος

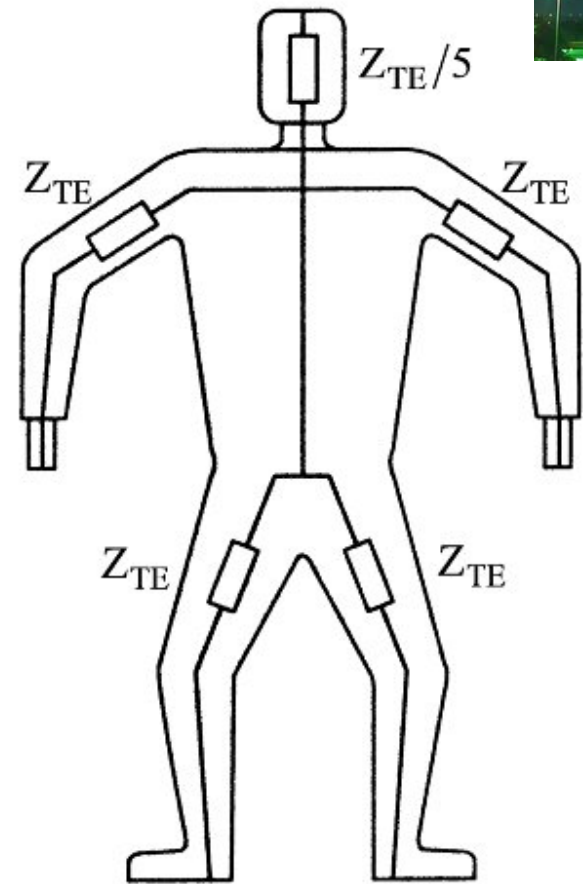


Ισοδύναμο κύκλωμα ανθρωπίνου σώματος.

Z_{p1}, Z_{p2} : σύνθετη αντίσταση δέρματος

Z_i : σύνθετη εσωτερική αντίσταση

Z_T : συνολική σύνθετη αντίσταση.

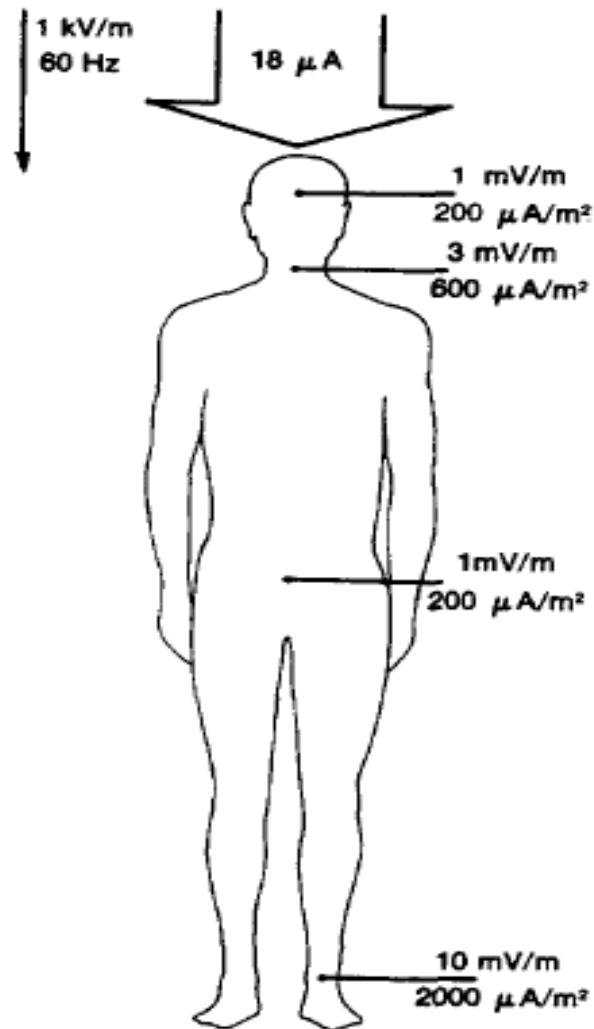


Σύνθεση της **συνολικής σύνθετης αντίστασης** του ανθρωπίνου σώματος από τις επί μέρους αντιστάσεις των χεριών και ποδιών.

Body resistance



- in ohms/cm²
- resistance of dry, well-keratinized, intact skin averages 20,000 to 30,000 ohms/cm²
- for a thickly calloused palm or sole, it may be 2 to 3 million ohms/cm²
- resistance of moist, thin skin is about 500 ohms/cm²
- if the skin is punctured (e.g., from a cut or abrasion or by a needle) or if current is applied to moist mucous membranes (e.g., mouth, rectum, vagina), resistance may be as low as 200 to 300



The internal fields in a grounded, erect human subject exposed to an unperturbed 1 kV/m -I, 60 Hz , electric field.

Επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος – Μακροπληξία

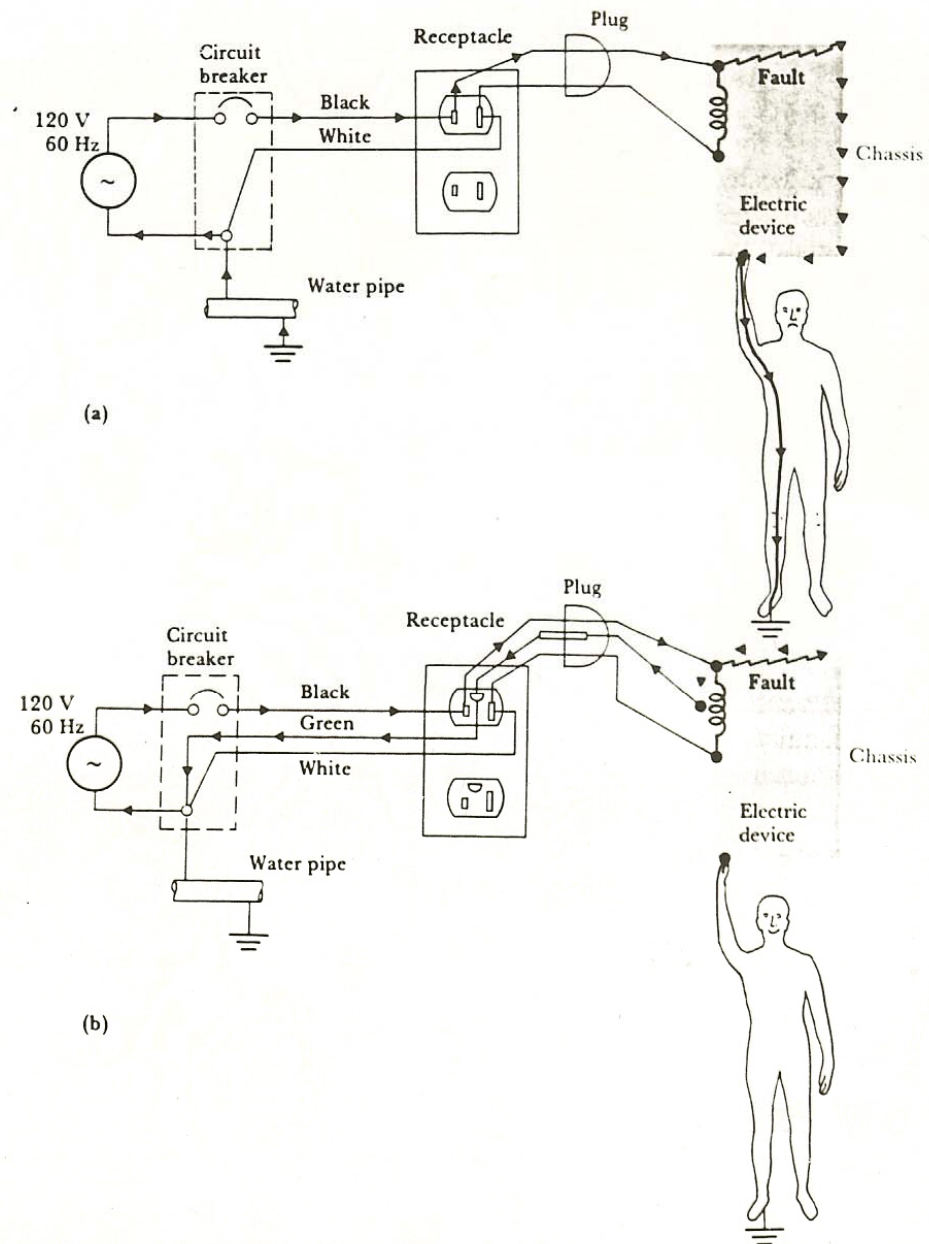


Figure 14.8 Macroshock due to a ground fault from hot line to equipment cases for (a) ungrounded cases and (b) grounded chassis.



Γενικές επιπτώσεις του ηλεκτρικού ρεύματος:

- Αιφνίδιος θάνατος λόγω καρδιακής ή αναπνευστικής ανακοπής. Η καρδιακή ανακοπή οφείλεται συνήθως σε κοιλιακή μαρμαρυγή. Η αναπνευστική ανακοπή οφείλεται συνήθως σε σπασμό ή παράλυση των αναπνευστικών μυών ή καταστροφή του αναπνευστικού κέντρου στον προμήκη.
- Καταπληξία οφειλόμενη σε καρδιογενή αίτια είτε σε υποογκαιμία.
- Οπισθοτονική μυϊκή σύσπαση λόγω υψηλής τάσης, η οποία είναι δυνατόν να προκαλέσει σχίσιμο ή απομάκρυνση των ενδυμάτων και υποδημάτων και επίσης την εκτίναξη του σώματος σε απόσταση.
- Εκτεταμένη μυϊκή νέκρωση (συχνά με ελάχιστη εξωτερική κάκωση). Η δίοδος ηλ. ρεύματος, ειδικά όταν είναι υψηλής τάσης, μπορεί να οδηγήσει σε θρόμβωση των αγγείων και καταστροφή των μυών και των νεύρων με απώτερο αποτέλεσμα την ανάπτυξη περιφερικής γάγγραινας. Η εκτεταμένη καταστροφή των τριχοειδών και των μυών έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση μεγάλων ποσοτήτων μυοσφαιρίνης στην κυκλοφορία. Σε βαρύτερες περιπτώσεις η εξαγγείωση υγρών μπορεί να οδηγήσει σε υποογκαιμία και shock.
- Σύνδρομο διαμερίσματος. Εντός λεπτών από το ατύχημα λόγω αυξημένης αγγειακής διαπερατότητας, το οίδημα του μέλους αυξάνεται, με παράλληλη εμφάνιση πόνου κατά την παθητική κινητοποίηση του. Το οίδημα συνοδεύεται από το φαινόμενο της «διαμερισματοποίησης», το οποίο και επιβάλλει χειρουργική διερεύνηση με στόχο την αποσυμπίεση των ιστών και την αφαίρεση των νεκρωμένων περιοχών δέρματος ή μυός.

- Κατάγματα μακρών οστών ή και Σ.Σ. Το ρεύμα περνώντας από μύες προκαλεί συσπάσεις ικανές να οδηγήσουν σε κάταγμα οστών.
- Οξεία νεφρική ανεπάρκεια λόγω υποογκαιμίας ή μυοσφαιρινουρίας.
- Άμεσες νευρολογικές βλάβες: το θύμα μπορεί να εμφανίζει ποικίλη νευρολογική συμπτωματολογία με διαταραχές του επιπέδου συνείδησης (από βυθιότητα μέχρι κώμα), σπασμούς και διαταραχές του αυτόνομου νευρικού συστήματος, λόγω αναστολής της λειτουργίας των κέντρων του εγκεφαλικού στελέχους. Σε άμεση επαφή του κρανίου με τον αγωγό, μπορεί να παρατηρηθούν επιληπτικές κρίσεις και εστιακή νευρολογική σημειολογία.
- Όψιμες νευρολογικές βλάβες: κεφαλαλγία, ζάλη, ίλιγγος, σπασμοί, αλλαγή προσωπικότητας. Άλλες πιθανές επιπλοκές είναι η εμφάνιση γαστρορραγίας, νευρογενούς πνευμονικού οιδήματος, διάχυτης ενδαγγειακής πήξης. Σε απώτερο χρόνο είναι δυνατό να εμφανισθούν νευρολογικές διαταραχές, διαταραχές στην όραση και εμφάνιση καταρράκτη.





Η ΜΑΡΜΑΡΥΓΗ

Η μαρμαρυγή (Ventricular Fibrillation, Herzkammer Flimmern) είναι η πιο επικίνδυνη βλάβη για τη ζωή. Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι:

- ♥ Οι καρδιακοί παλμοί γίνονται από περιοδικούς, άρρυθμους.**
- ♥ Η καρδιά δεν είναι σε θέση να κυκλοφορήσει το αίμα.**
- ♥ Μειωμένη οξυγόνωση του εγκεφάλου. Η τελευταία μπορεί να οδηγήσει σε μερικά λεπτά σε θάνατο ή σε μία μόνιμη αδυναμία μέρους του εγκεφάλου.**

Θεραπευτικές εφαρμογές του ηλεκτρικού ρεύματος



➤ Ηλεκτροχειρουργική

➤ Ηλεκτροδιαθερμία

➤ Ηλεκτροχειρουργική

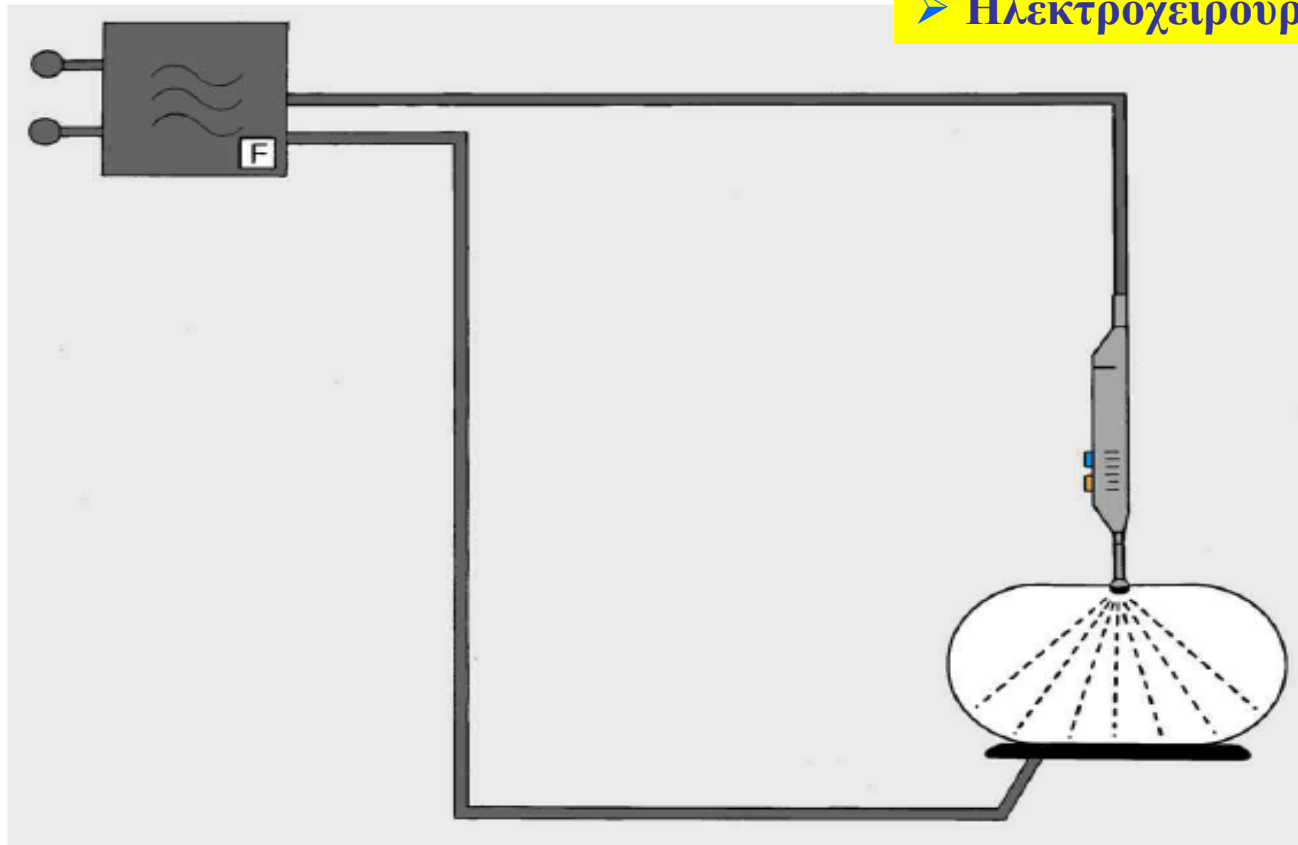
Είναι γενικός όρος αναφερόμενος σε όλες τις μεθόδους χρησιμοποίησεως του ηλεκτρισμού στη χειρουργική και περιλαμβάνει την ηλεκτροκαυτηρίαση (electrocautery), την ηλεκτρόλυση (electrolysis), την καταστροφή ζωικών ιστών δι' ηλεκτρικών σπινθήρων (electrofulguration), την ξήρανση ζωικών ιστών με ηλεκτρικό ρεύμα (electrodesiccation), την ηλεκτροπηξία (electrocoagulation) και την κοπή (τομή) ιστών με ηλεκτρικό ρεύμα (electrosection).



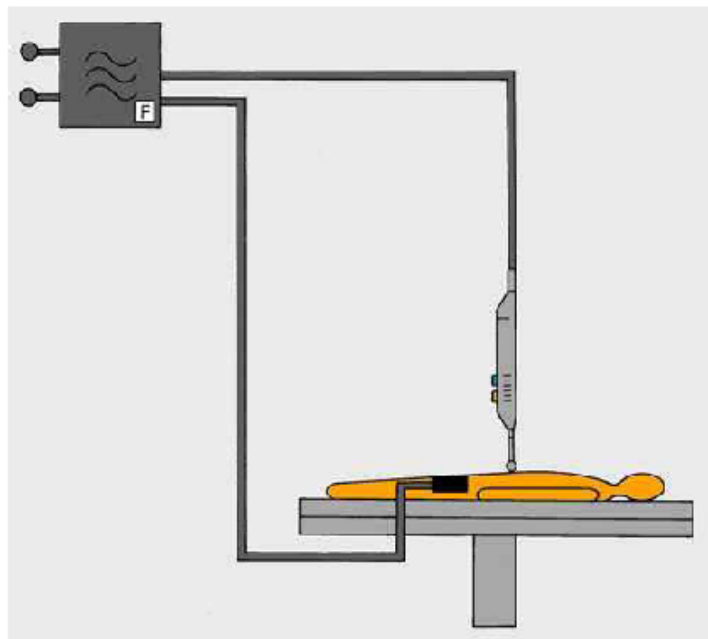
Από: Νούτσης ΚΒ, «Αρχές Ηλεκτροχειρουργικής», ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΑΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ, ΤΟΜΟΣ 70, ΤΕΥΧΟΣ 1, σελ. 59-65, ΙΑΝ.-ΑΠΡ. 2008.

The working principle of electrosurgery

➤ Ηλεκτροχειρουργική



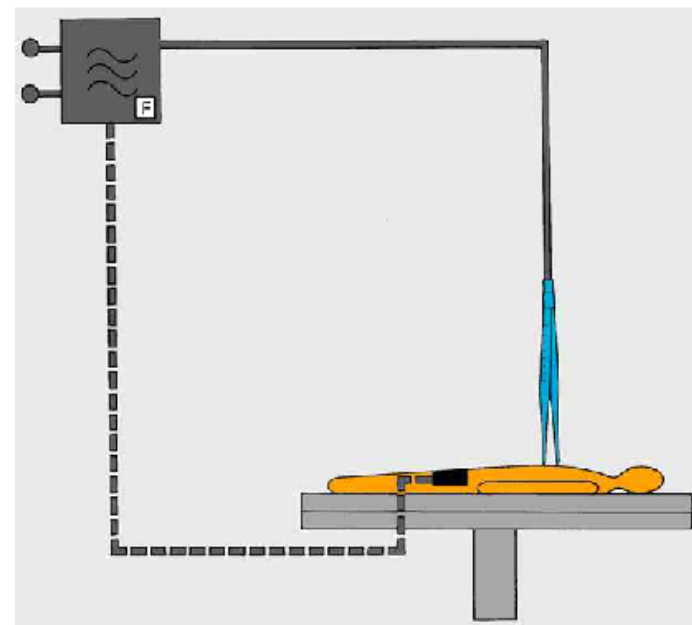
The diagram shows the principle of the construction of an electrosurgical unit. The electrosurgical generator is the module in which electrical energy drawn from the mains supply is converted to a high frequency current. This high frequency current is passed through a supply cable and a handle to an active **spot** electrode. At the point of application, this electrode builds up a highly concentrated field in the tissue surrounding the contact point. The concentration of energy within a small area produces the desired electrosurgical effect in the region around the active electrode. As the energy is conducted through the patient to a neutral electrode, in contact with a large surface, the current concentration is reduced. Thus, in the vicinity of the neutral electrode, there is, as is intended, no thermal effect. The electrical circuit is completed by the neutral electrode's connecting cable.



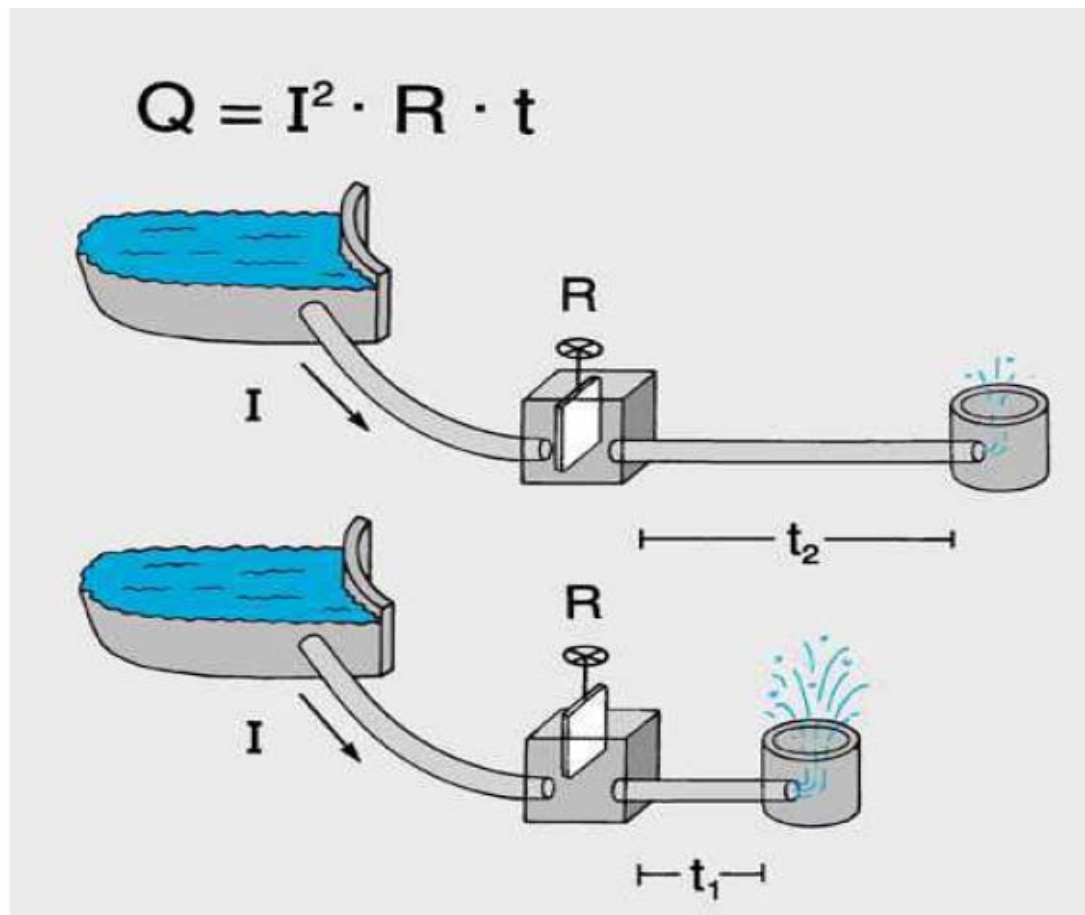
Με τη μονοπολική τεχνική εφαρμογής, το ρεύμα ρέει από το ενεργό ηλεκτρόδιο μέσω του βιολογικού ιστού στο ουδέτερο ηλεκτρόδιο. Η δύναμη παρέχεται από τη γεννήτρια HF που παράγει ένα ρεύμα υψηλής συχνότητας. Το ηλεκτρικό κύκλωμα ολοκληρώνεται από το καλώδιο ανεφοδιασμού στη χειρουργική λαβή, το ενεργό ηλεκτρόδιο και τον ασθενή, και το ουδέτερο ηλεκτρόδιο και το καλώδιο σύνδεσής του.

The principle of the bipolar technique

Στη διπολική τεχνική το ρεύμα HF δεν διατρέχει το σώμα του ασθενή προς το ουδέτερο ηλεκτρόδιο. Χρησιμοποιώντας ειδικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού (μόνωση), μπορούν να κατασκευαστούν διπολικά εργαλεία, στα οποία το ενεργό και το ουδέτερο ηλεκτρόδιο τοποθετούνται το ένα απέναντι από το ένα άλλο. Το πιο γνωστό εργαλείο αυτού του είδους είναι οι διπολικές λαβίδες. Η πορεία του ρεύματος είναι απλά από το ένα σημείο της λαβίδας στο άλλο και η ζώνη πήξης είναι διακριτή, με απαίτηση χαμηλής ισχύος.

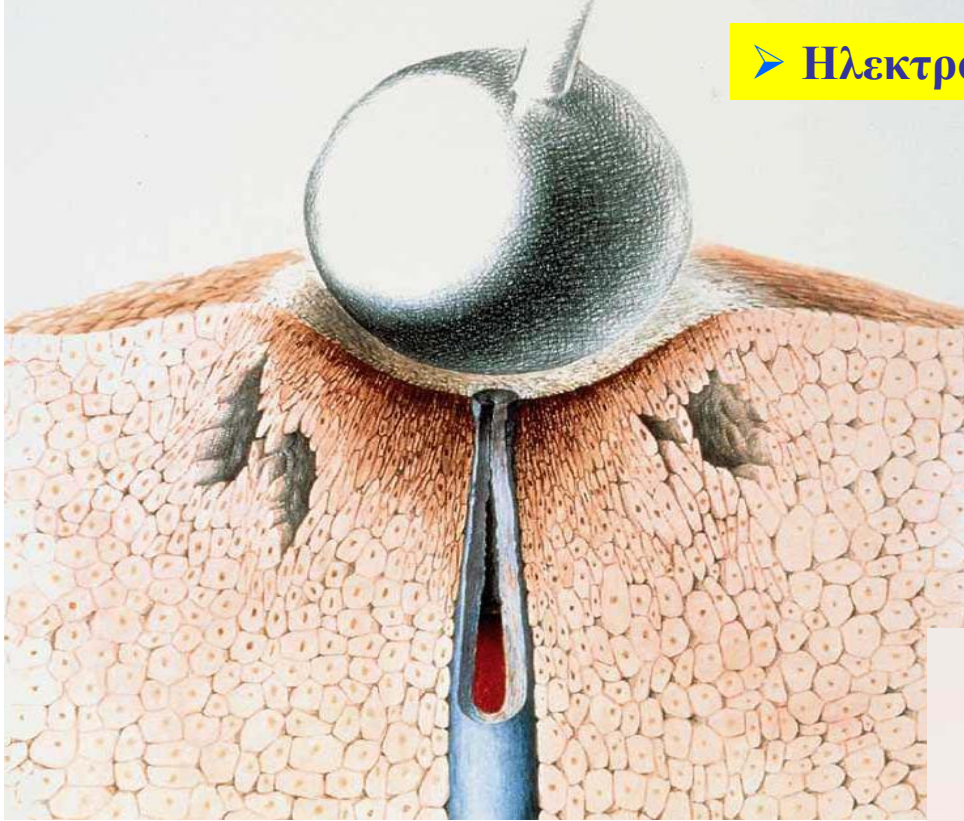


➤ Ηλεκτροχειρουργική – φυσική αρχή



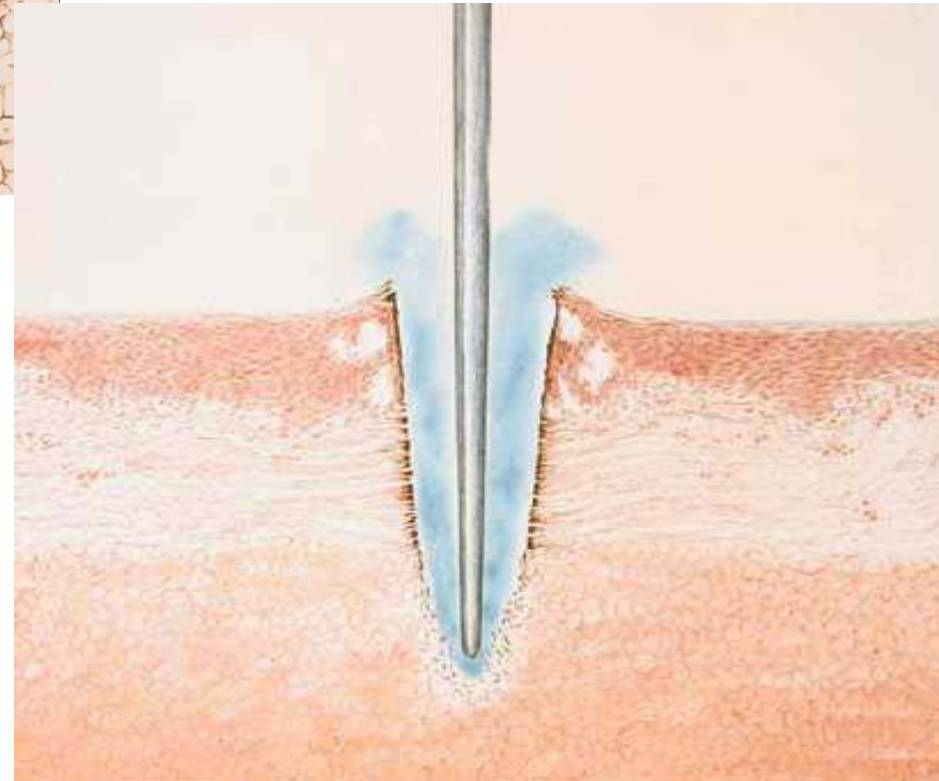
Τα ηλεκτροχειρουργικά εργαλεία βασίζονται στην αρχή της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμότητα. Η βασική αρχή καθορίζεται από το νόμο Joule της θερμοδυναμικής, στον οποίο η σχέση του ποσού θερμότητας που αναπτύσσεται από ηλεκτρικό ρεύμα (I) σε ωμική αντίσταση (R) και σε διάρκεια (t) εκφράζεται ως:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

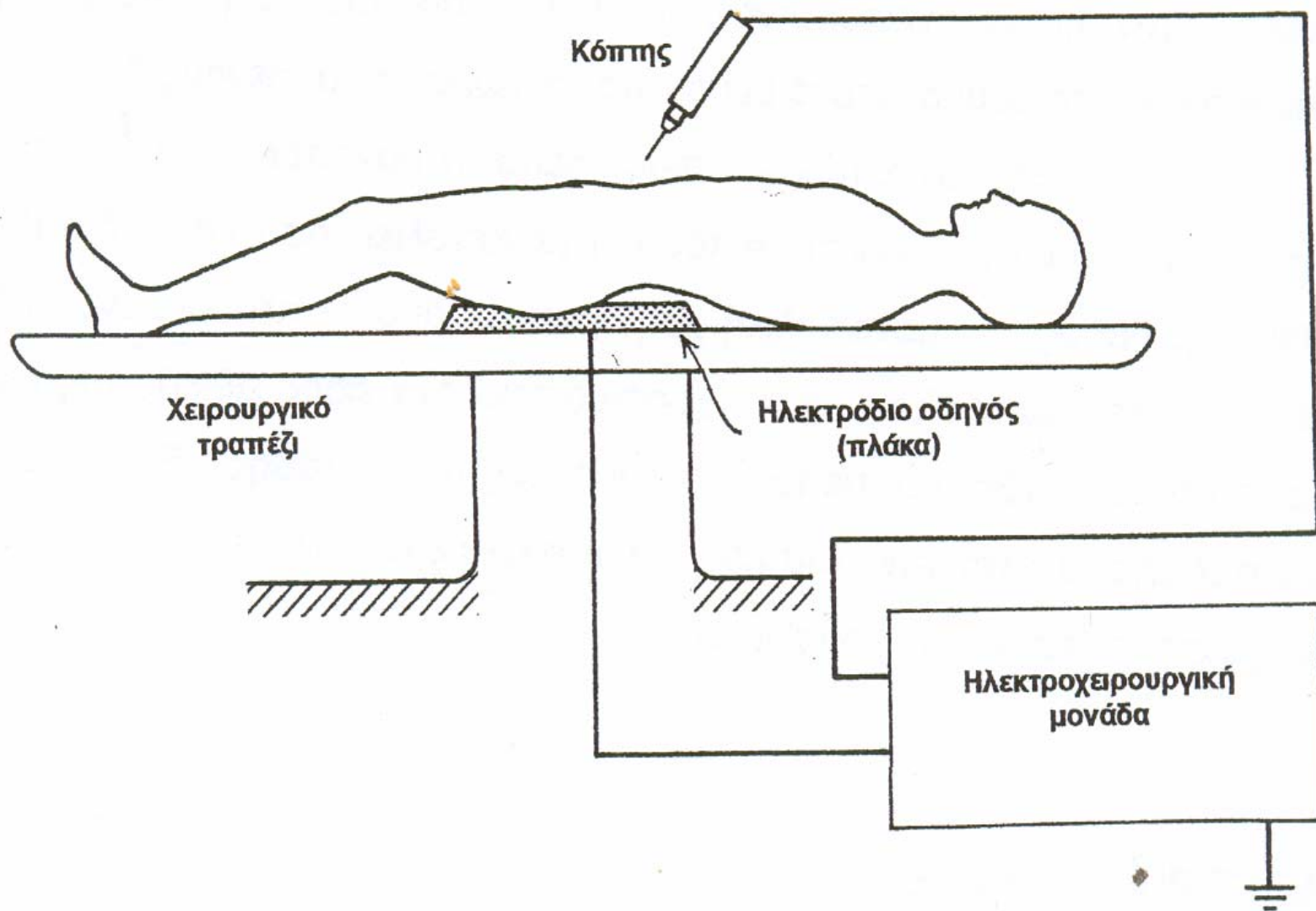


Ηλεκτροτομή (Electrotomy)

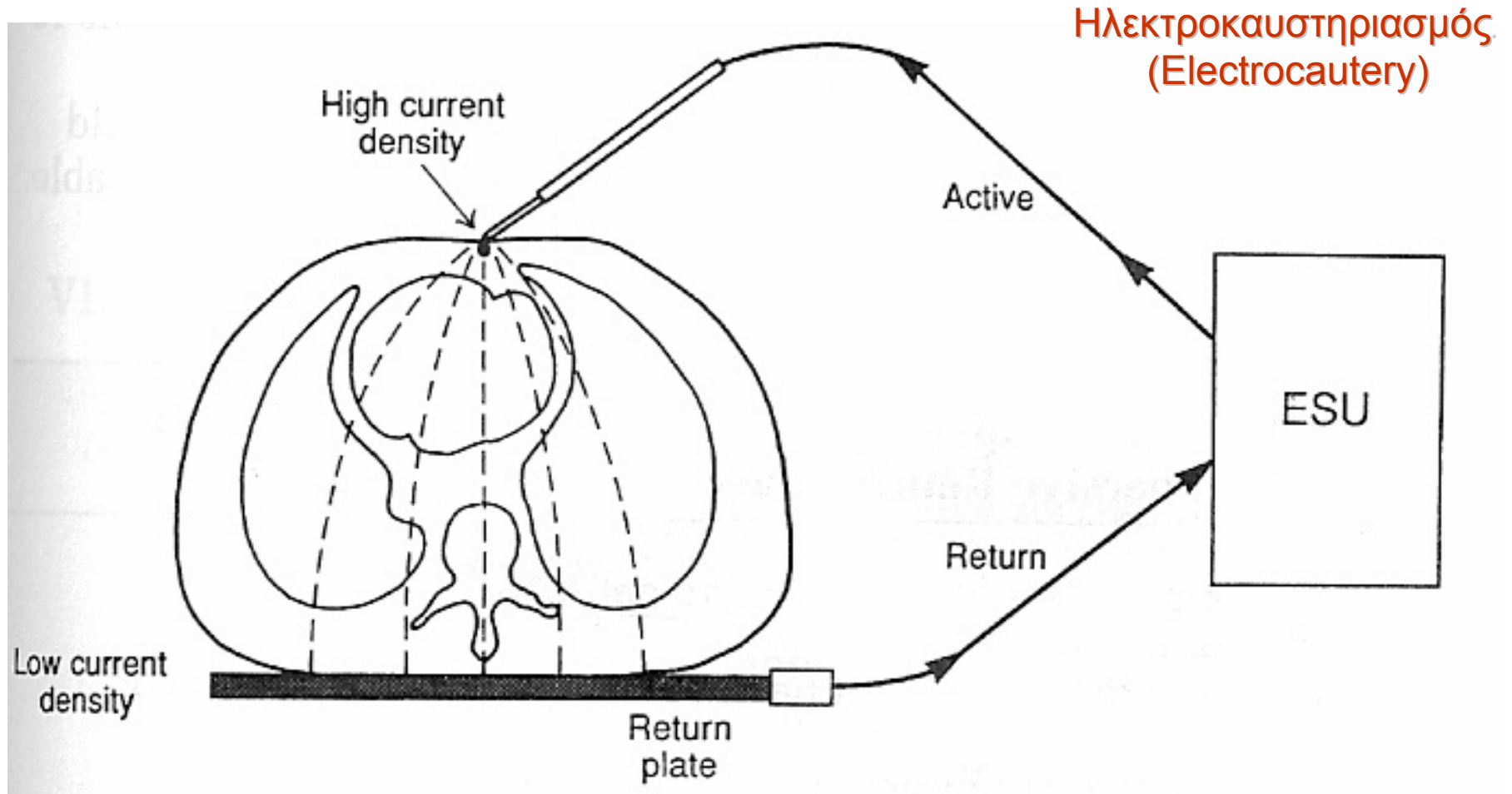
Η αρχή της αιμόστασης
(The principle of coagulation)



➤ Ηλεκτροχειρουργική

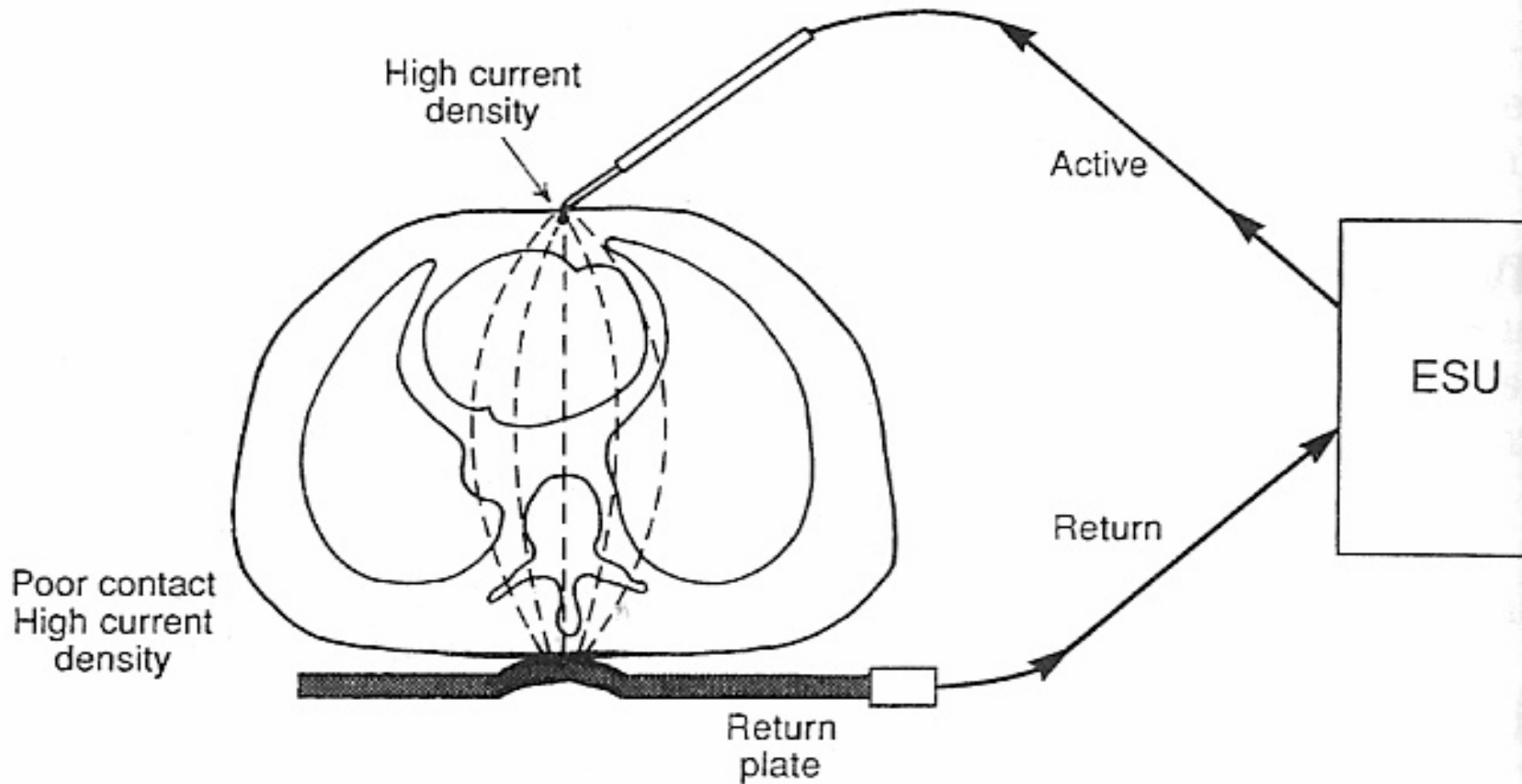


➤ Ηλεκτροχειρουργική – σωστή τοποθέτηση ασθενούς



➤ Ηλεκτροχειρουργική – λάθος τοποθέτηση ασθενούς

Electrocautery with Poor Contact



➤ Ηλεκτροχειρουργική – ατύχημα σε ασθενή



Παράδειγμα εγκαύματος από υψίσυχνο ρεύμα (high frequency, HF)

Αυτός ο τύπος τραυματισμού του ασθενούς αφορά το ανεπιθύμητο κάψιμο **κάτω** από το ουδέτερο ηλεκτρόδιο. Αυτό είναι πιθανώς το αποτέλεσμα δύο παραγόντων:

1. Η περιοχή εφαρμογής δεν είχε αποτριχωθεί, αν και προφανώς ήταν απαραίτητο.
2. Παραμένουσα υγρασία (πιθανώς από το απολυμαντικό) είχε παγιδευτεί μεταξύ της επιφάνειας του δέρματος και του ηλεκτροδίου. Η HF ενέργεια ρέοντας προς το ουδέτερο ηλεκτρόδιο πέρασε μέσω της γέφυρας του αγωγίμου ρευστού χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης. Αυτό οδήγησε σε μια συγκέντρωση της πυκνότητας ρεύματος σε αυτά τα σημεία και ως εκ τούτου στο κάψιμο.



➤ Ηλεκτροχειρουργική – ατυχήματα από αναφορές του ECRI



Extinguishing: rip off.



33



Extinguishing: rip off.



34

U.S. News
August 18-25, 2003



7

Patient injured or dead, bad press, & long lawsuits equal high costs.

15-Day-Old Boy Dies in Flash Fire on Operating Table

By MICHAEL S. YARSKA, 10/19/02
LA TIMES

A routine operation, performed dozens of times before in the same room, with the same surgical team, turned into tragedy Thursday morning at Cedars-Sinai Medical Center when a flash fire erupted a 15-day-old boy as he underwent a life-saving procedure.

Ripping away a flaming breathing tube, a doctor rushed the 2-pound baby, born 4 months premature, into the neonatal intensive care unit in an incubator where physicians tried unsuccessfully for 90 minutes to revive the infant, officials said.

The fire, which was immediately extinguished, broke out after surgeons used a cautery—a pen-like electric instrument that seals a tiny spark—to stop the bleeding from the first incision.

One of the doctors present said that



Dr. David Rimon, center, discusses operating room fire that claimed the life of a 15-day-old boy. At left is Dr. Aris Alkhalay, one of attending physicians.

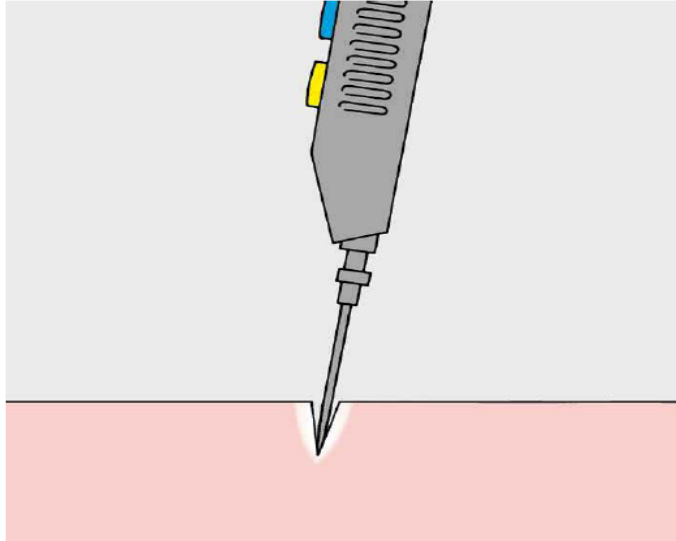


8

➤ Ηλεκτροχειρουργική – παραδείγματα εφαρμογών

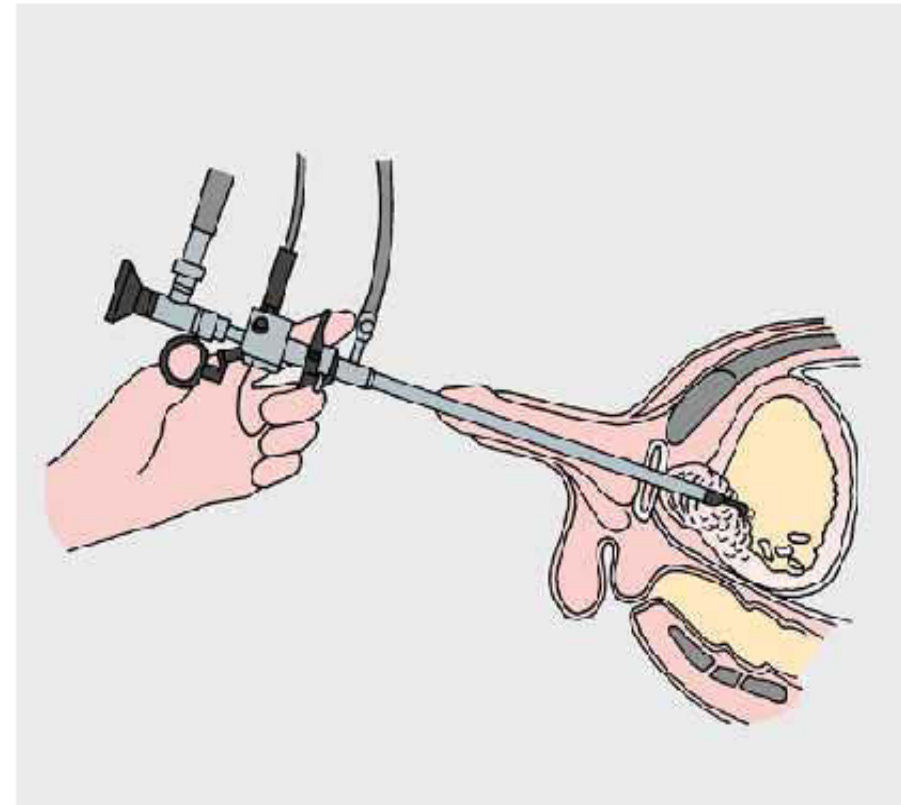


Application of electrotomy



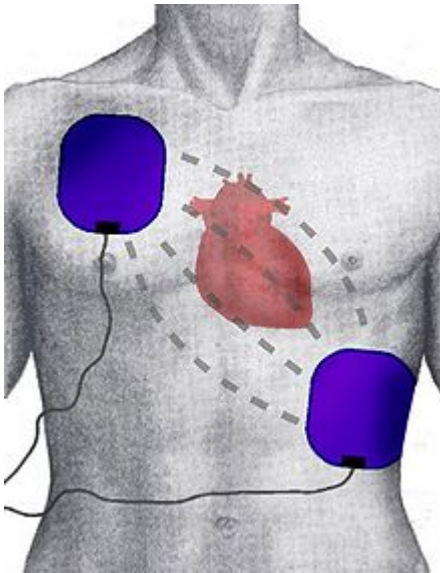
Διουρηθρική εκτομή

Transurethral resection (TUR)





Απινίδωση



An AED at a railway station in [Japan](#). The AED box has information on how to use it in Japanese, English, Chinese and Korean, and station staff are trained to use it.



Βασική ΚαρδιοΠνευμονική Αναζωογόνηση (Β.ΚαρΠΑ) και εφαρμογή εξωτερικής απινίδωσης Οι τελευταίες (2005) οδηγίες του ΕΣΑ

Πάυλος Μ. Μυριανθεύς
Επίκουρος Καθηγητής
Πανεπιστημιακή ΜΕΘ, ΓΝΑ «ΚΑΤ»

Σήμερα: Αλυσίδα της ζωής

Chain of survival



Αλυσίδα της ζωής

- Έγκαιρη αναγνώριση και κλήση για βοήθεια
- Άμεση Β.ΚαρΠΑ
 - Για κάθε λεπτό χωρίς Β.ΚαρΠΑ, η επιβίωση μειώνεται κατά 7-10%
 - Όταν εφαρμοστεί Β.ΚαρΠΑ η επιβίωση μειώνεται κατά 3-4%/λεπτό
 - Συνολικά, η εφαρμογή Β.ΚαρΠΑ διπλασιάζει – τριπλασιάζει την πιθανότητα επιβίωσης
- Έγκαιρο απινιδισμό
 - Για κάθε λεπτό χωρίς απινιδισμό μειώνεται η επιβίωση κατά 10-15%
 - Άμεση Β.ΚαρΠΑ + Έγκαιρος απινιδισμός μέσα σε 3-5 λεπτά: επιβίωση 49-75%
- Έγκαιρη εφαρμογή Εξειδικευμένης ΚαρΠΑ και καλής ποιότητας φροντίδα μετά την ΚαρΠΑ

Β.ΚαρΠΑ. Ειδικές περιπτώσεις

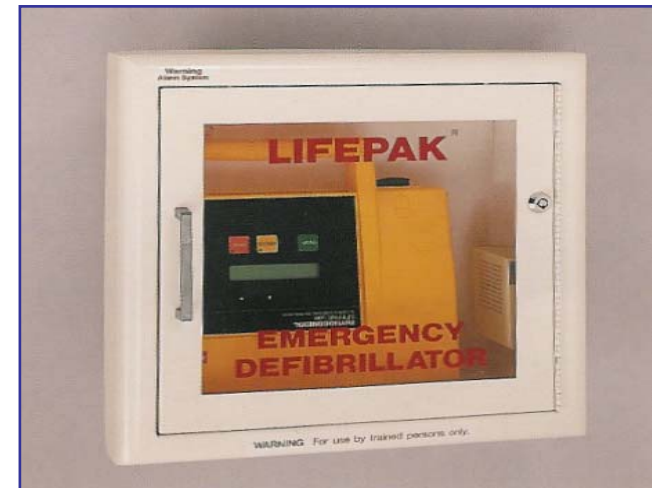
- Ηλεκτροπληξία – Κεραυνοπληξία
 - Αφαίρεση καλωδίων αποσύνδεση από παροχές ρεύματος
 - ΚΤ – ασυστολία
 - Τετανικός σπασμός – εσωτερικές κακώσεις (ΣΣ), μυοσκελετικά τραύματα, εγκαύματα
 - Ασφάλεια διασώστη
 - Απομάκρυνση καμένων ρούχων κλπ
 - Έναρξη Β.ΚαρΠΑ
 - Μεταφορά σε Νοσοκομείο



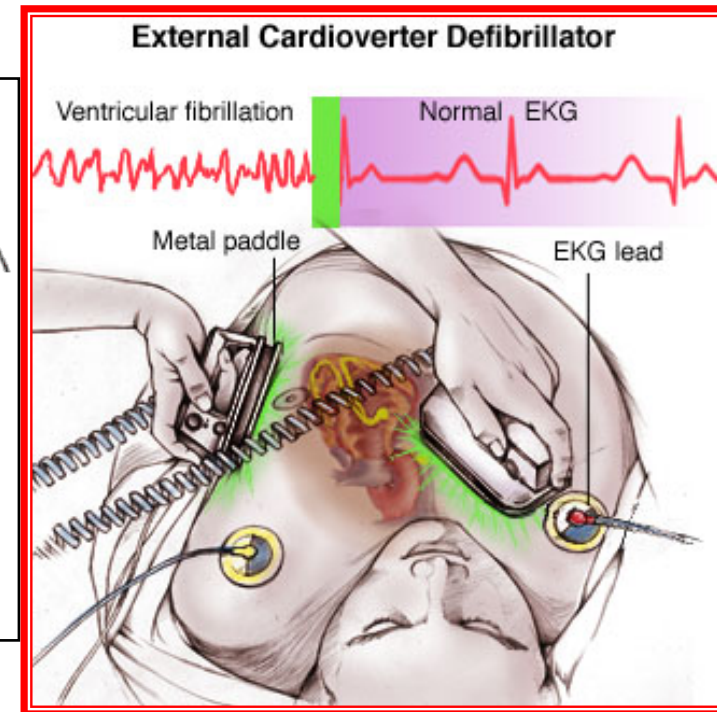
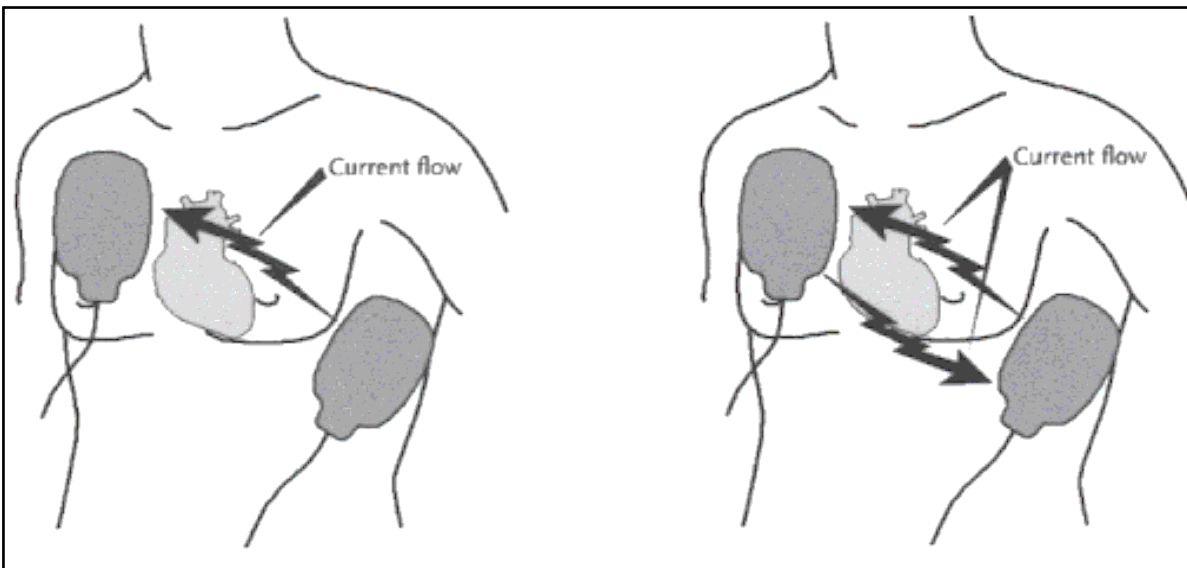
Εξωτερική απινίδωση



- Συνιστάται εφαρμογή προγραμμάτων εκπαίδευσης κοινού για τη χρήση απινιδιστή
- Δημόσια πρόσβαση σε απινιδιστή ενδείκνυται όταν σε αυτό το χώρο προβλέπεται ότι θα χρησιμοποιηθεί πάνω από **1 φορά μέσα σε 2 χρόνια** (αεροδρόμια, χώροι διασκέδασης, χώροι αθλητισμού)
- Όμως, 80% των ανακοπών παρατηρούνται στο σπίτι και ιδιωτικούς χώρους



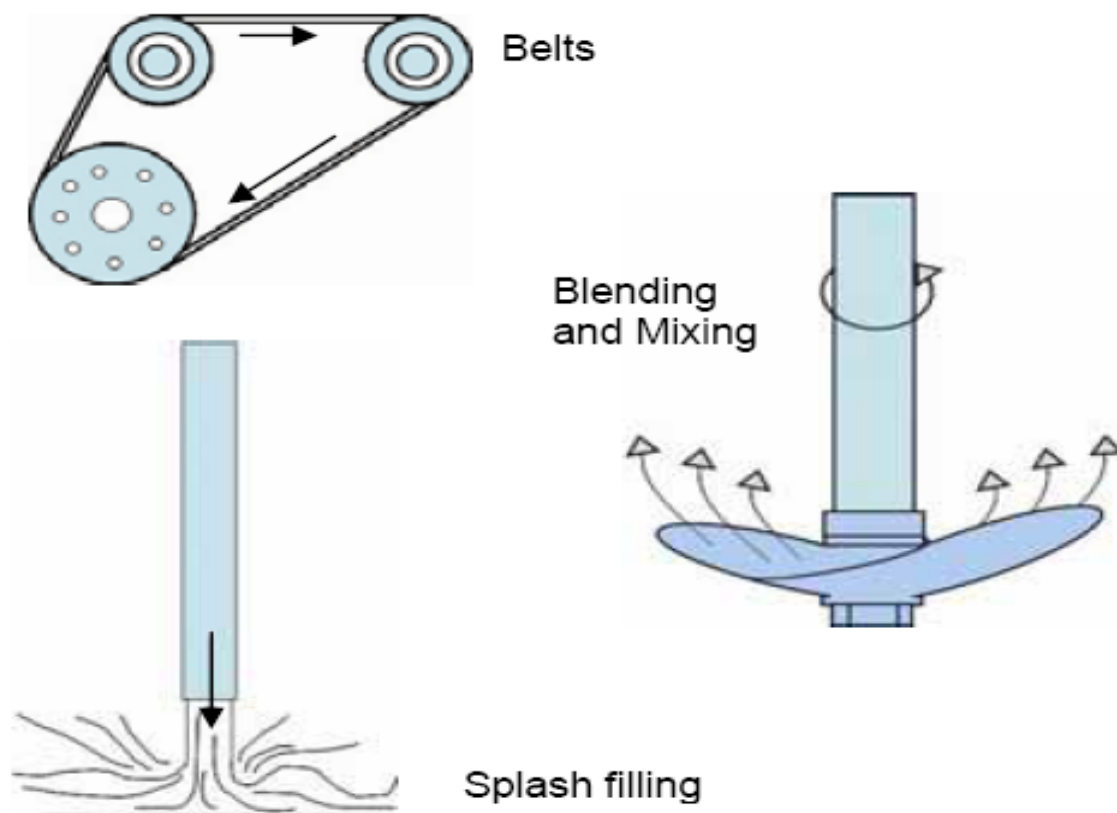
Τοποθέτηση – Θέση των ηλεκτροδίων – pads





Στατικός ηλεκτρισμός

Figure 1: Common Sources of Static Electricity



Στατικός ηλεκτρισμός παράγεται συνήθως:

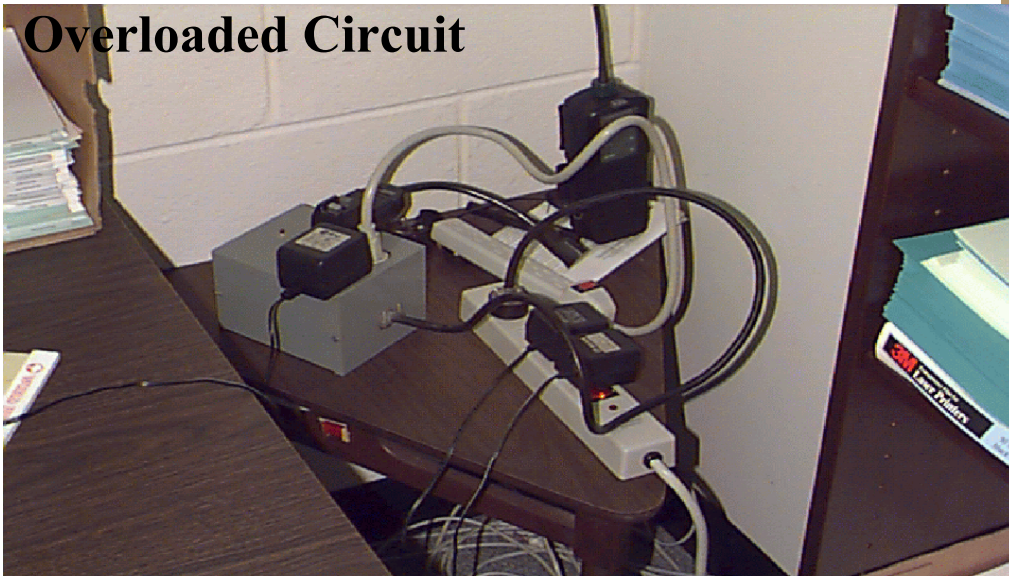
- όταν υγρά ρέουν μέσω ενός σωλήνα ή μιας μάνικας, ή μέσω ενός ανοίγματος σε έναν σωλήνα ή μια μάνικα,
- κατά τον ψεκασμό ή επικάλυψη – βαφή,
- κατά την ανάμειξη,
- όταν γεμίζουν δεξαμενές, δοχεία ή κάδους
- όταν ξηρά κονιορτοποιημένα υλικά περνούν μέσω υδατοπτώσεων ή πνευματικών ιμάντων μεταφοράς
- Όταν οι μη αγώγιμοι ιμάντες μεταφοράς ή οι ιμάντες κίνησης κινούνται και οι συσκευές είναι συνδεδεμένες με ηλεκτρικές εξόδους

Ο κύριος κίνδυνος της στατικής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η δημιουργία σπινθήρων σε μια εκρηκτική ή εύφλεκτη ατμόσφαιρα. Αυτοί οι σπινθήρες μπορούν να πυροδοτήσουν μια έκρηξη ή μια πυρκαγιά. Ο κίνδυνος είναι μέγιστος όταν χύνονται τα εύφλεκτα υγρά ή μεταφέρονται.

- Η μέγιστη επιτρεπόμενη διαρροή σε εξοπλισμό χειρουργείου είναι $10\ \mu\text{A}$ (microamperes)



Overloaded Circuit





Static Electric Fields as a Mediator of Hospital Infection

Janet E. Allen Julie J. Close Denis L. Henshaw

H. H. Wills Physics Laboratory, University of Bristol

The electric field in air was calculated using the relationship:

$$\text{E-field at surface} = P/R(\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}) \quad (1)$$

Where P = the electrical potential measured at the surface of the apron in kV and R = the radius calculated from the circumference of a nurse just below waist height,

The velocity of a bacterium in air close to a surface with static charge is calculated as follows:

$$\text{Velocity} = \frac{\text{Electrical mobility} \times \text{Number of charges} \times \text{E-field}}{\quad} \quad (2)$$

Static electric charge at the surface of nurses' plastic aprons was examined as a possible contributor to hospital infections in a bone marrow transplant ward. Transplant patients undergo high-dose chemotherapy and radiotherapy which compromises the immune system, rendering these patients highly susceptible to infecting organisms. Results of this pilot study showed that the velocity of a bacterium in air close to the apron surface was sufficient for swift attraction onto the surface. In addition, an electric field may be induced around the patient by the presence of the plastic apron, attracting airborne bacteria directly onto the patient. Tests showed that the polyethylene plastic aprons attracted about 83% more bacteria onto their surfaces during wear, compared with only 17% more acquired by aluminium foil aprons. We suggest that these results implicate static charge on aprons as a mediator of hospital infection.

ΘΕΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΑΠΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ



Τα θέματα ασφάλειας, στην κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων ρυθμίζονται από πληθώρα κανονισμών και προτύπων, διεθνών και εθνικών. Στην χώρα μας είναι υποχρεωτική η εφαρμογή του **Κανονισμού Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων (Κ.Ε.Η.Ε.)**. Σκοπός του Κ.Ε.Η.Ε. είναι «η εξασφάλιση στην πράξη, προστασίας σε πρόσωπα, κτίρια και πράγματα, από τους κινδύνους που προέρχονται από τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας· με την εφαρμογή του Κανονισμού προκύπτει μια εγκατάσταση ουσιαστικά απαλλαγμένη από κινδύνους» (άρθρο 1, Κ.Ε.Η.Ε.). Σε αρκετές περιπτώσεις, ιδιαίτερα σε ειδικές εγκαταστάσεις, για τις οποίες δεν υπάρχει πρόβλεψη του Κ.Ε.Η.Ε., γίνεται χρήση διεθνών κανονισμών. Στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κτιρίων έχουν εφαρμογή οι σειρές των διεθνών προτύπων IEC 60364, τα γερμανικά πρότυπα VDE 100, τα βρετανικά πρότυπα BSI 7671, τα γαλλικά πρότυπα UTE C-15-100, τα ιταλικά αντίστοιχα CEI 64-8 κ.ά. Σημειώνουμε ότι ο ΕΛΟΤ πρόσφατα (Ιούλιος 2003) ολοκλήρωσε τις εργασίες για τη σύνταξη του νέου Κ.Ε.Η.Ε. ο οποίος, μετά την έγκρισή του από τις αρμόδιες ελληνικές Αρχές, θα αντικαταστήσει τον υφιστάμενο. Ο νέος Κ.Ε.Η.Ε. (με την ονομασία, πλέον, ΕΛΟΤ HD 384) βασίζεται στα ισχύοντα ευρωπαϊκά πρότυπα και αποτελεί μετάφραση αντιστοίχων τμημάτων του HD 384.



Σύμφωνα με το άρθρο 8 του ΚΕΗΕ παρέχεται ασφάλεια έναντι ηλεκτροπληξίας όταν η τάση λειτουργίας δεν υπερβαίνει τα 50V. Για εγκαταστάσεις με τάση λειτουργίας μεγαλύτερη των 50V πρέπει να αποκλείεται η τυχαία επαφή με στοιχεία που βρίσκονται υπό τάση και πρέπει πρόσθετα να πληρούνται μία από τις τρεις συνθήκες:

- α) Το ρεύμα που μπορεί να διέλθει από τον ανθρώπινο οργανισμό, συνεχές ή εναλλασσόμενο με συχνότητα μέχρι 60Hz, να μην υπερβαίνει τα 0,5mA.
- β) Η τάση επαφής να μην μπορεί να υπερβεί τα 50V.
- γ) Τάση επαφής μεγαλύτερη από 50V να μην μπορεί να διατηρηθεί περισσότερο από 5s.

Από την σύγκριση των συνθηκών αυτών με τα προηγούμενα προκύπτει ότι:

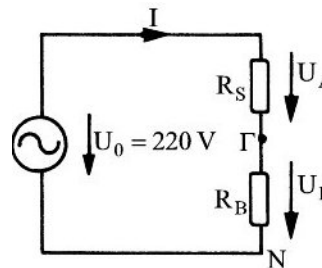
η συνθήκη α) είναι αδικαιολόγητα αυστηρή,

η συνθήκη β) συμπίπτει (για το εναλλασσόμενο ρεύμα) με τους σχετικούς κανονισμούς της IEC και CENELEC.

η συνθήκη γ) είναι ελαστική, μη κάνοντας διαχωρισμό μεταξύ κυκλωμάτων χωρίς και με ρευματοδότες.



*Παράδειγμα επιπτώσεων
από την εφαρμογή
ουδετέρωσης και άμεσης
γείωσης στο ίδιο δίκτυο.*



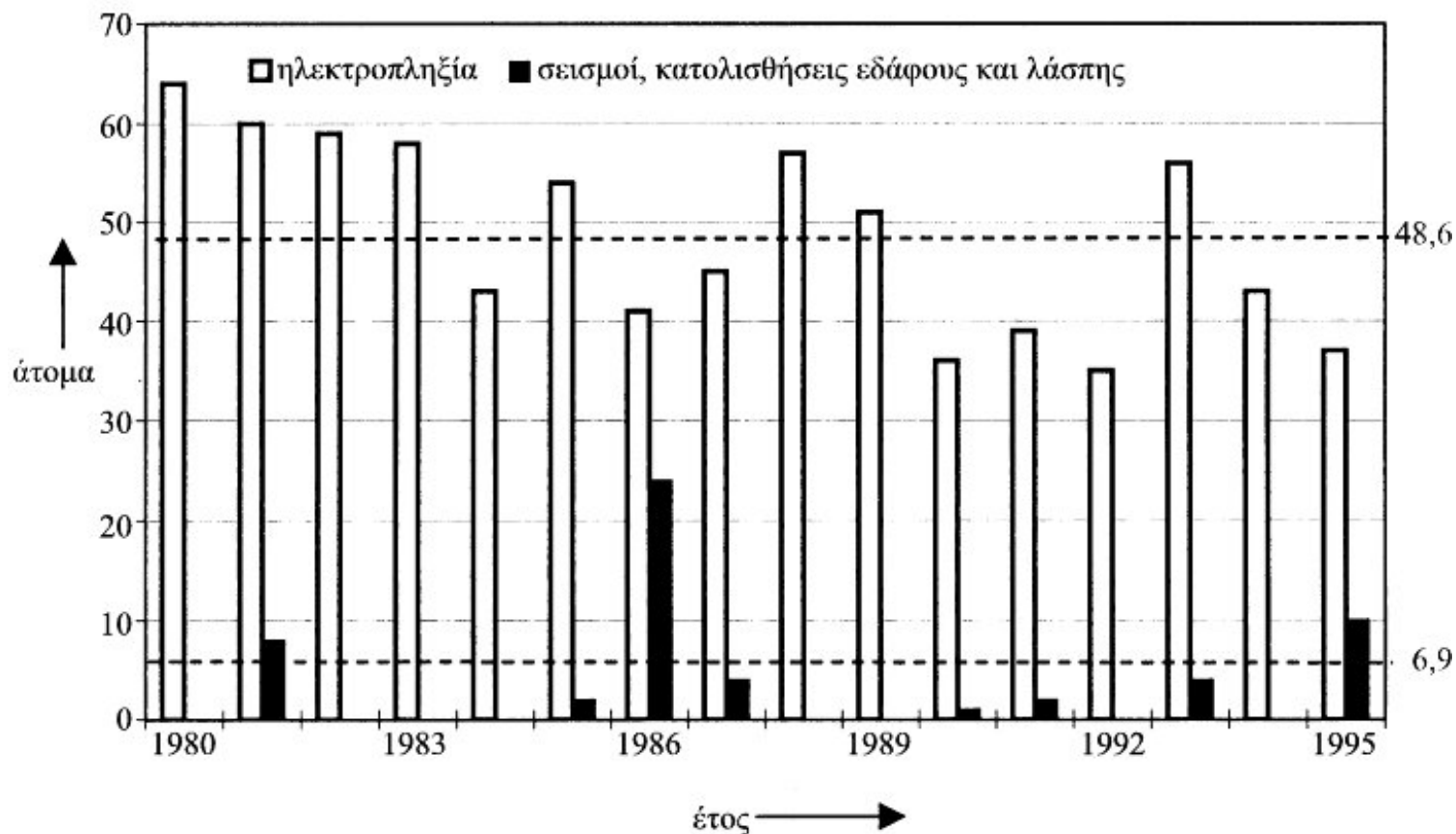
$$U_A = U_0 \frac{R_S}{R_S + R_B} \quad U_B = U_0 \frac{R_B}{R_S + R_B}$$

α) για $R_B = 2 \Omega$ και $R_S = 1 \Omega$

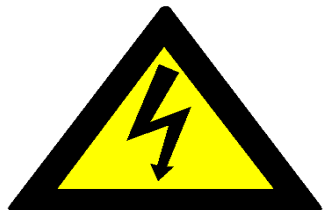
$$U_A = 73 \text{ V} \quad U_B = 147 \text{ V}$$

β) για $R_B = 2 \Omega$ και $R_S = 0,5 \Omega$

$$U_A = 44 \text{ V} \quad U_B = 176 \text{ V}$$



Θανατηφόρα ατυχήματα από ηλεκτροπληξία στην Ελλάδα, ανά έτος κατά την περίοδο 1980-1995 και σύγκριση με τα θανατηφόρα ατυχήματα από σεισμούς, κατολισθήσεις και χιονοστιβάδες (Πηγή πρωτογενών στοιχείων: Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδας).

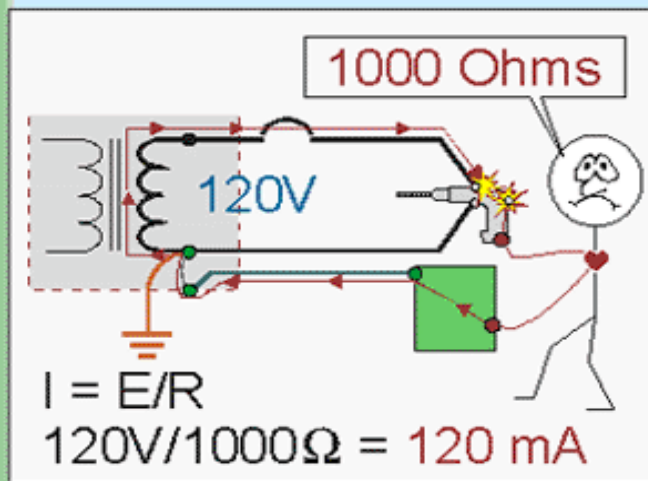
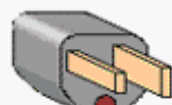


Electrical Shock

The body becomes part of an electrical path.

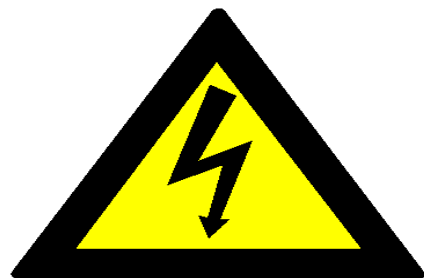
Line-to-ground fault energizes metal parts.

Broken Terminal



Grounded Object or Surface

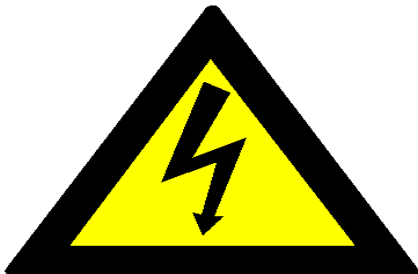
Copyright 2002 Mike Holt Enterprises, Inc.





Θανατηφόρα εργατικά ατυχήματα σύμφωνα με την αιτία που τα προκάλεσε (1987-1994).

Τύπος ατυχήματος (αιτία)	Θανατηφόρα ατυχήματα	(%)
Πτώσεις	301	40,2
Ηλεκτροπληξία	129	17,2
Μηχανήματα	126	16,8
Παθολογικά αιτία	70	9,4
Τροχαία	45	6,0
Εκρήξεις	39	5,2
Λοιπά	22	2,9
Εισπνοή αερίων	16	2,1
Σύνολο	748	100,0



ΣΗΜΑΝΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ



Ηλεκτροφόρο
στοιχείο



Απαγορεύεται η
κατάσβεση με νερό



Απαγορεύεται ο
χειρισμός



Σημείο γείωσης



Κίνδυνος
ηλεκτροπληξίας

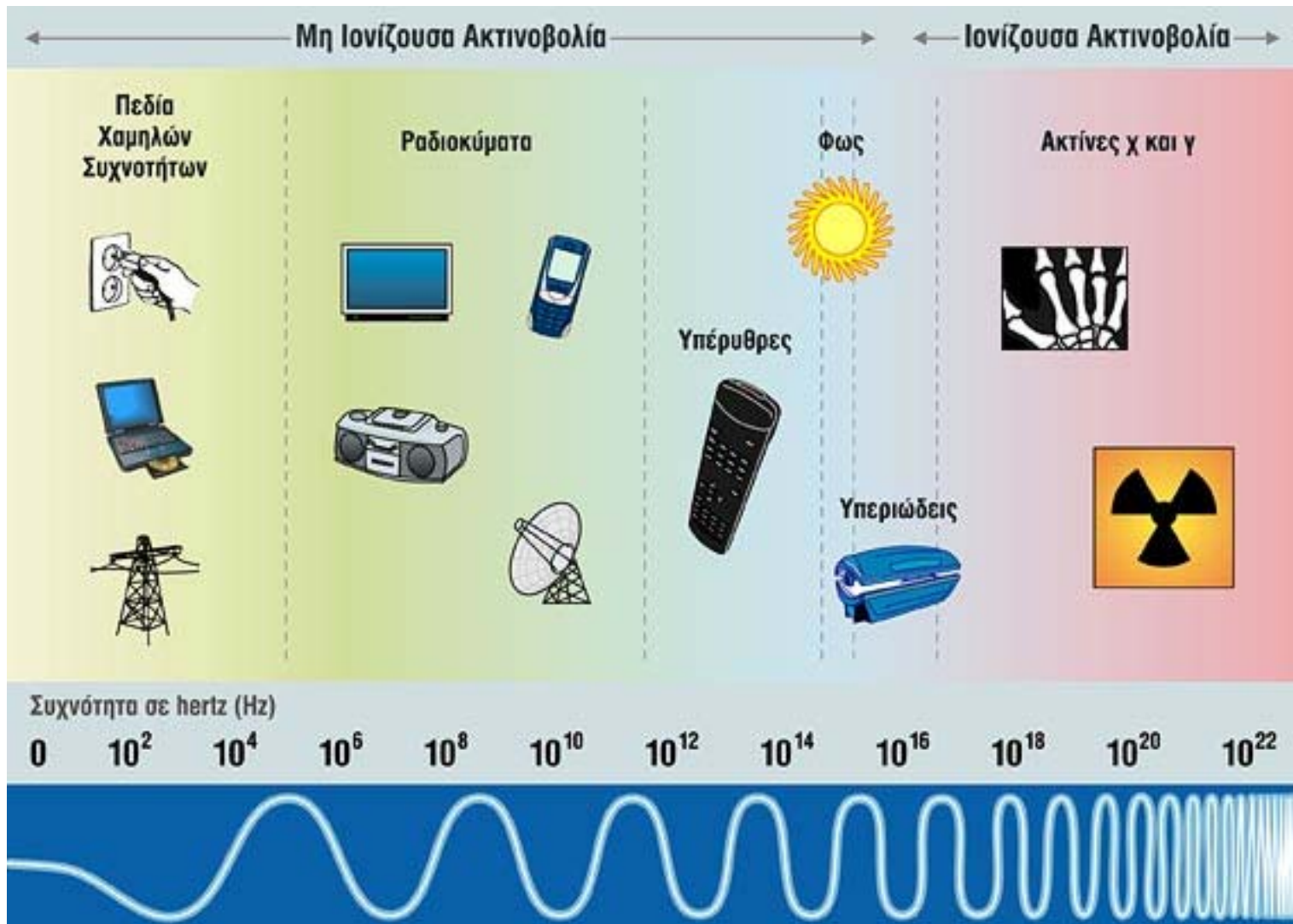
Βιβλιογραφία για περαιτέρω μελέτη

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ
ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ
ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ - ΜΕΘΟΔΟΙ
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ ΣΕ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΔΠΘ
Α. Σ. ΣΑΦΙΓΙΑΝΝΗ
ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΟ ΣΥΓΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΤΟΥ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ
Δ. Κ. ΤΣΑΝΑΚΑ
«ΕΙΔΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ
ΔΙΚΤΥΩΝ -
Α΄ ΜΕΡΟΣ – ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ»**

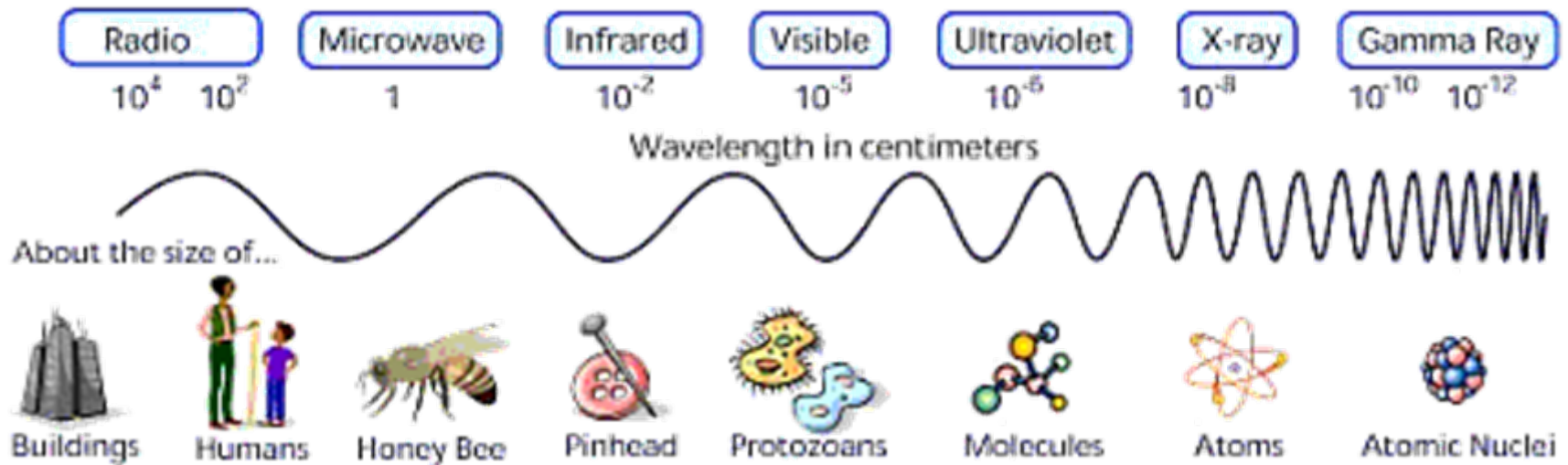


Βιολογική δράση των μικροκυμάτων, των ραδιοκυμάτων και των radar

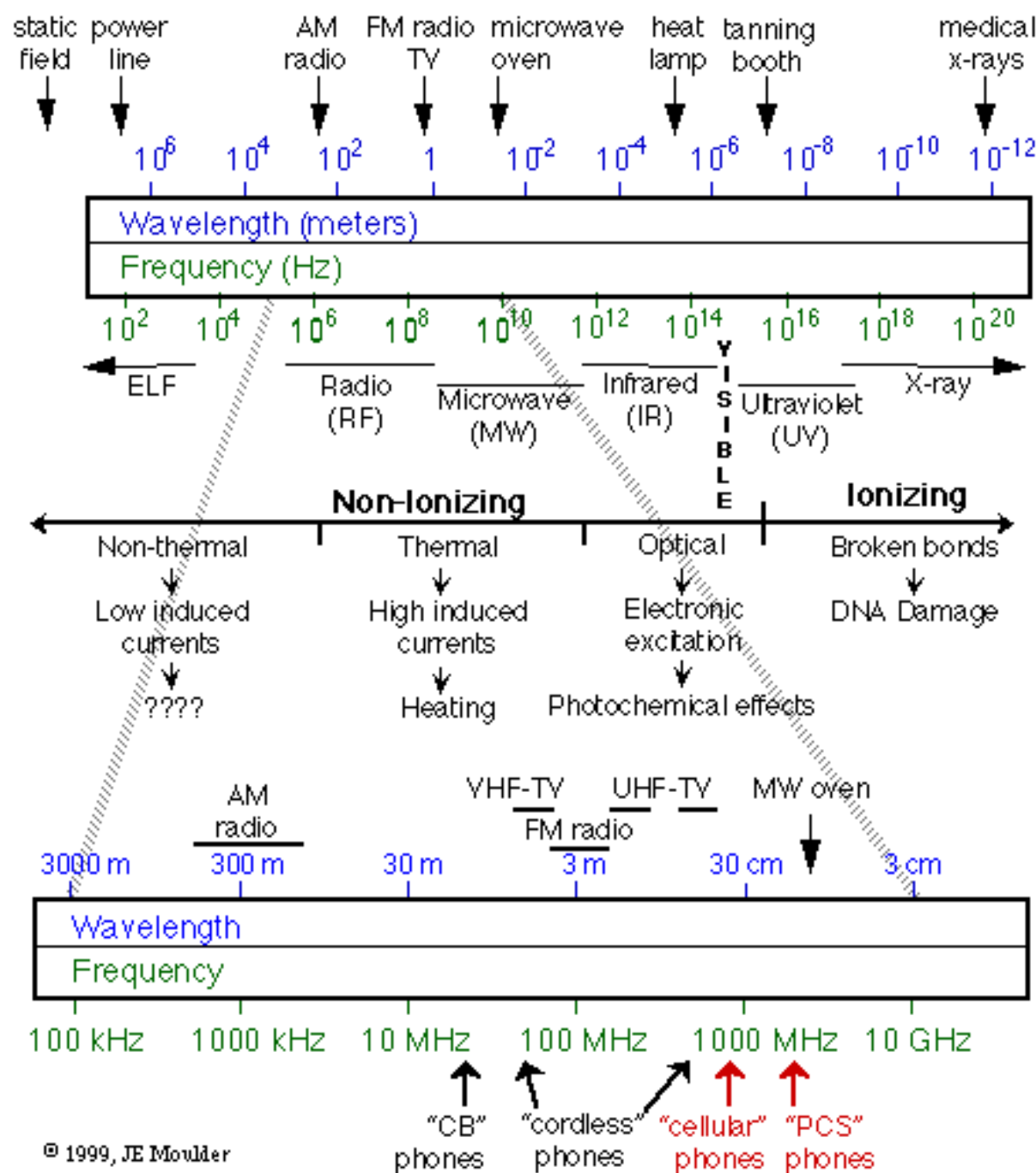


Βιολογική δράση των μικροκυμάτων, των ραδιοκυμάτων και των radar

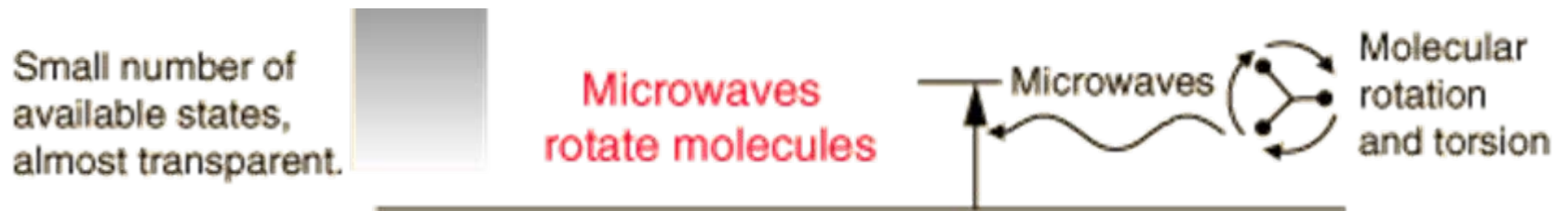
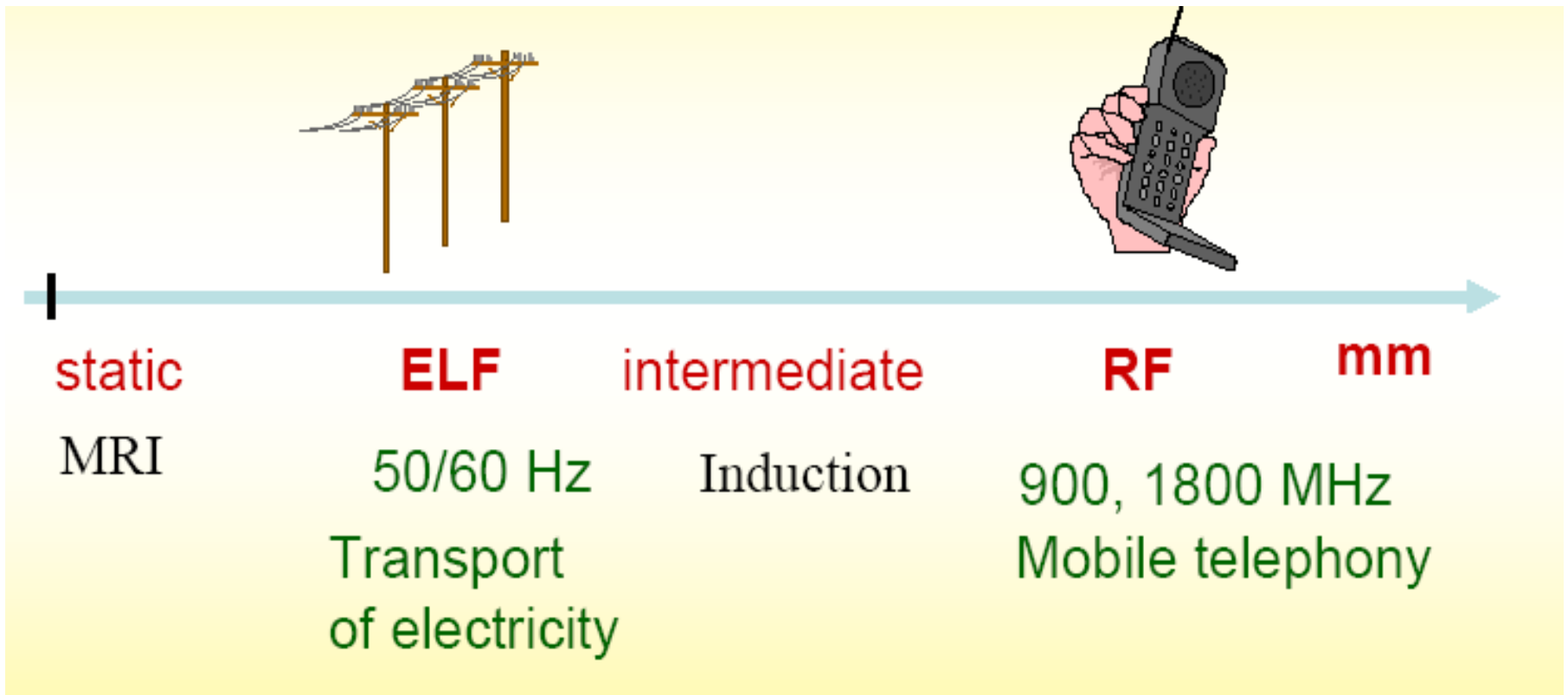
❖ Η αλματώδης αύξηση της χρήσης ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών στην καθημερινή ζωή κατά τις τελευταίες δεκαετίες οδήγησε πολλούς επιστήμονες στην αναζήτηση του τρόπου αλληλεπίδρασης της **μη ιοντίζουσας ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας** με την έμβια ύλη για τον καθορισμό ασφαλών ορίων έκθεσης σε αυτήν. Η γενικά αποδεκτή άποψη για τη βιολογική δράση της μη ιοντίζουσας Η/Μ ακτινοβολίας ήταν ότι αυτή είναι μόνο **θερμικού χαρακτήρα**, όταν το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερο από 0.5 μm . Πρόσφατες έρευνες διερευνούν τυχόν μη θερμικά (**αθερμικά**) αποτελέσματα των Η/Μ κυμάτων με τα βιολογικά συστήματα.



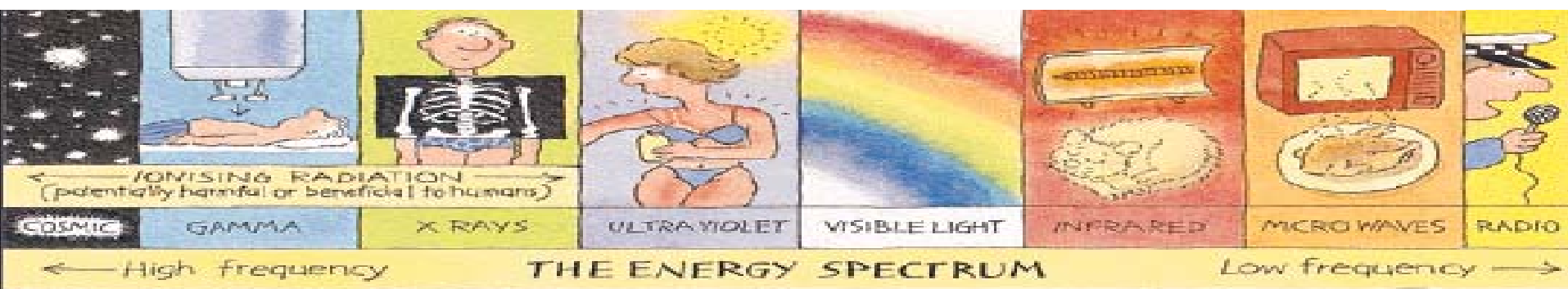
Μια ακόμη εκδοχή του φάσματος Η/Μ ακτινοβολίας!



🌐 Δράση των μικροκυμάτων, των ραδιοκυμάτων και των radar



🌐 Δράση των στατικών πεδίων, των μικροκυμάτων και των ραδιοσυχνοτήτων



The following table roughly summarises the underlying effects of static, ELF, RF and microwaves which possibly could induce a biological change.

Frequency	Mechanism	Unit of deposition
Static magnetic field 0 Hz	Magnetic induction and magnetomechanical interactions	
ELF 30 Hz – 300 Hz ELF	Current induction in body	$A/m^2 = H_{A/m} \times f \times x$ Body length
RF & microwaves 0,1 MHz – 10 GHz	Energy deposition	SAR in W/kg
10 GHz – 300 GHZ	Surface tissue heating	Power density W/m ²

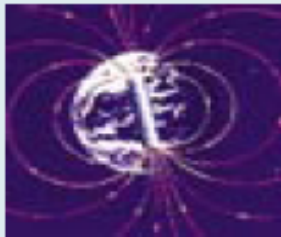
SAR = Specific energy Absorption Rate

A= Area

H = field strength

Δράση των στατικών πεδίων, των μικροκυμάτων, και των ραδιοσυχνοτήτων

Τα μαγνητικά πεδία μετρούνται συνήθως σε μικροτέσλα (μT). Επίσης χρησιμοποιείται και η μονάδα μέτρησης मिलिγκάουस (mG) ($10\text{mG} = 1\mu\text{T}$).



Το φυσικό μαγνητικό πεδίο της Γης είναι περίπου $45\mu\text{T}$ στην Ελλάδα.

Electromagnetic Fields and Human Health

Static and Extremely Low Frequency
(ELF) Fields



WORLD HEALTH ORGANIZATION

**ALARA-principle:
As Low As
Reasonably
Achievable**

Sources of exposure to static fields

Typical electric fields

Atmosphere (naturally-occurring)	12-150 V/m
Near TV set, video display unit	20 kV/m
Under 500 kV transmission line	30 kV/m

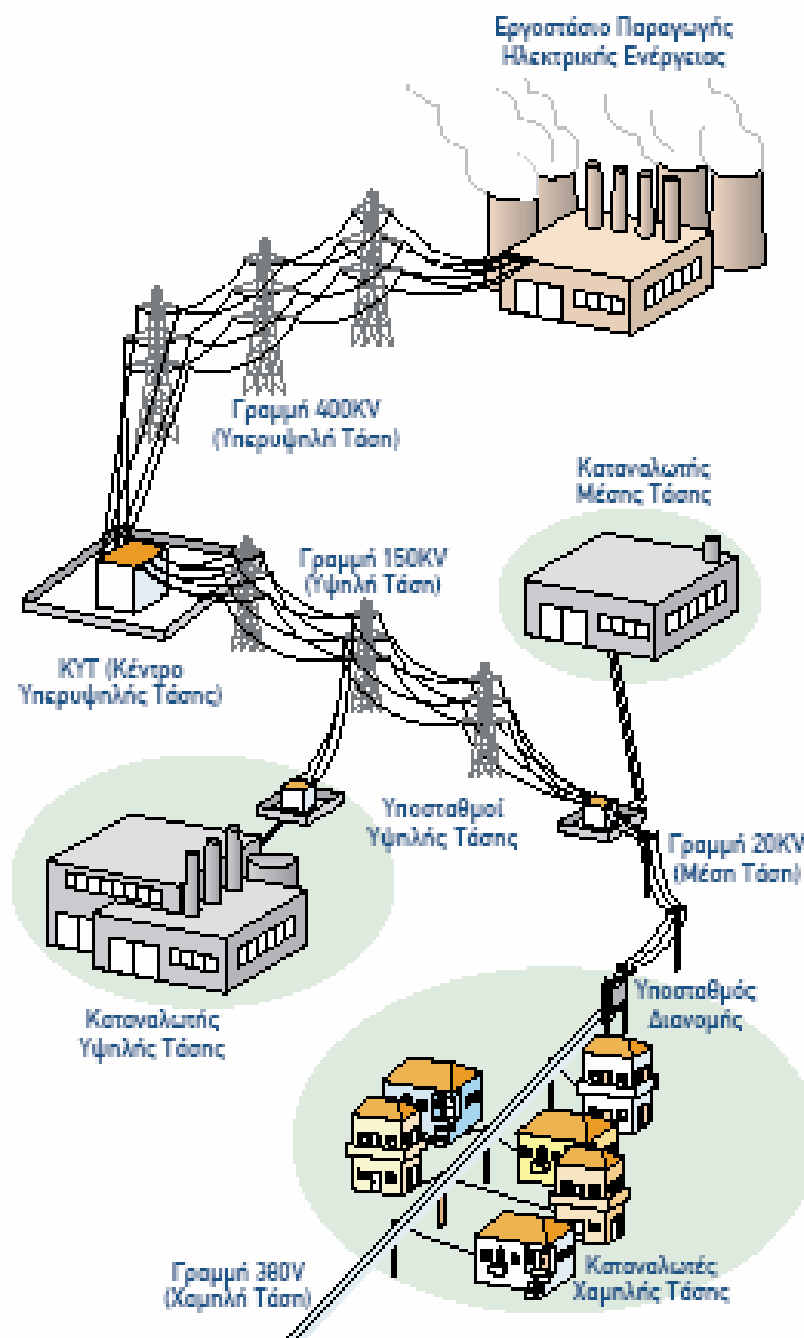
Typical magnetic fields

Geomagnetic field (naturally-occurring)	0.03-0.07 mT
Industrial DC equipment	50 mT
Magnetic levitation train	50 mT
Small bar magnets (locally)	1-10 mT
Magnetic resonance imaging (MRI)	2.5 T

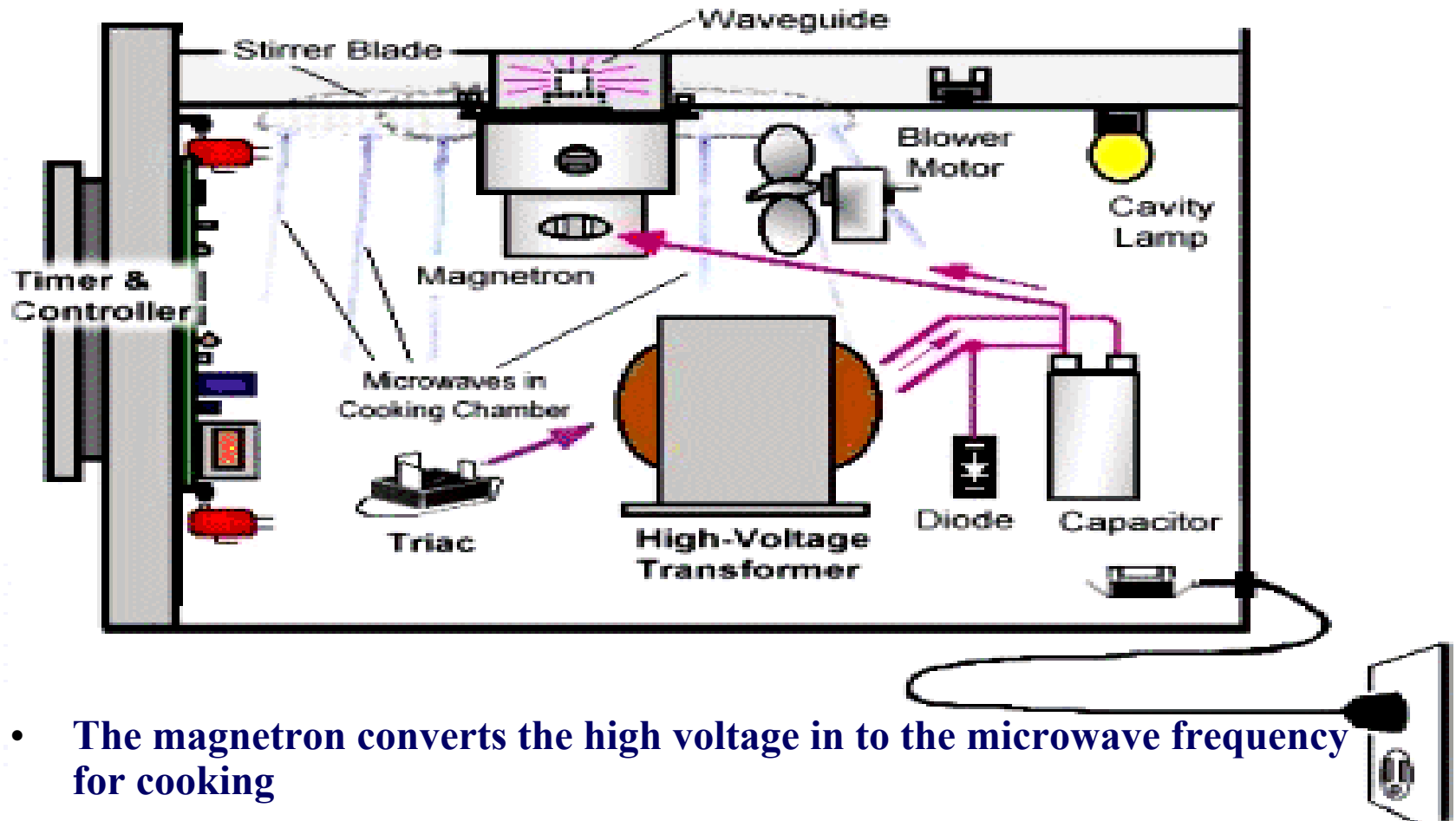
Τυπικά επίπεδα μαγνητικού πεδίου από κοινές ηλεκτρικές συσκευές που συνδέονται στο ηλεκτρικό δίκτυο*

ΣΥΣΚΕΥΗ	ΣΕ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 3 cm (μΤ)	ΣΕ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 30 cm (μΤ)	ΣΕ ΑΠΟΣΤΑΣΗ 1m (μΤ)
Ξυριστική μηχανή	10 - 900	0,05 - 9	0,01 - 0,2
Σεσουάρ Μαλλιών	8 - 800	0,01 - 7	0,01 - 0,03
Λαμπτήρας φθορισμού	40 - 400	0,5 - 2	0,02 - 0,25
Ηλεκτρική κουζίνα	1 - 50	0,15 - 0,5	0,01 - 0,04
Φούρνος μικροκυμάτων	5 - 100	0,4 - 8	0,15 - 0,5
Ψυγείο	0,5 - 1,7	0,01 - 0,3	0,01 - 0,05
Πλυντήριο ρούχων	0,8 - 40	0,15 - 3	0,01 - 0,15
Πλυντήριο πιάτων	1 - 15	0,2 - 2	0,07 - 0,3
Ηλεκτρικό σίδερο	3 - 30	0,14 - 0,3	0,01 - 0,03
Ηλεκτρική σκούπα	60 - 500	0,8 - 12	0,08 - 0,8
Φορητό ραδιόφωνο	1 - 15	0,4 - 1,5	0,01 - 0,1
Τηλεόραση	2 - 80	0,04 - 8	0,01 - 0,9
Βιντεοκάμερα	0,6 - 20	0,7 - 2,5	0,01 - 0,03
Φωτοτυπικό	0,6 - 40	0,1 - 2,7	0,01 - 0,3
Συσκευή FAX	0,4 - 1,5	0,01 - 0,2	0,01 - 0,02
Οθόνη Υπολογιστή	1 - 60	0,02 - 5	0,01 - 0,6
Ηλεκτρικό τρυπάνι	4 - 200	0,2 - 3,3	0,01 - 0,8

* οι αναφερόμενες τιμές αναγράφονται στην διεθνή βιβλιογραφία και έχουν επιβεβαιωθεί από μετρήσεις του Γραφείου Μη Ιονιζουσών Ακτινοβολιών της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας.

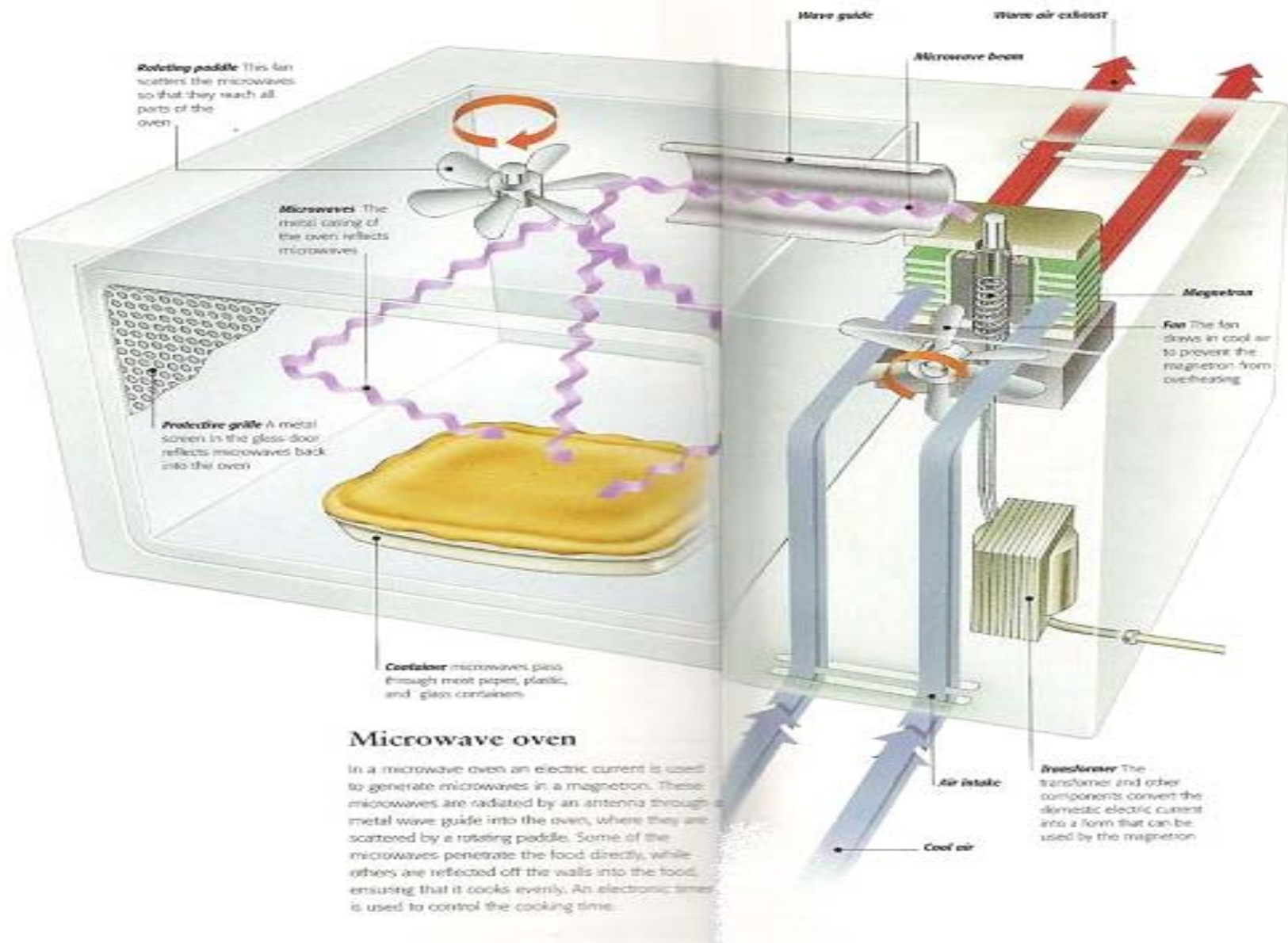


🌐 Δράση των μικροκυμάτων – φούρνος μικροκυμάτων



- The magnetron converts the high voltage in to the microwave frequency for cooking
- The microwave energy is transmitted into a waveguide
- The waveguide feeds the energy to the stirrer blade and into the cooking area
- When the door is opened, or the timer reaches zero, the microwave energy stops.

🌐 Δράση των μικροκυμάτων – φούρνος μικροκυμάτων

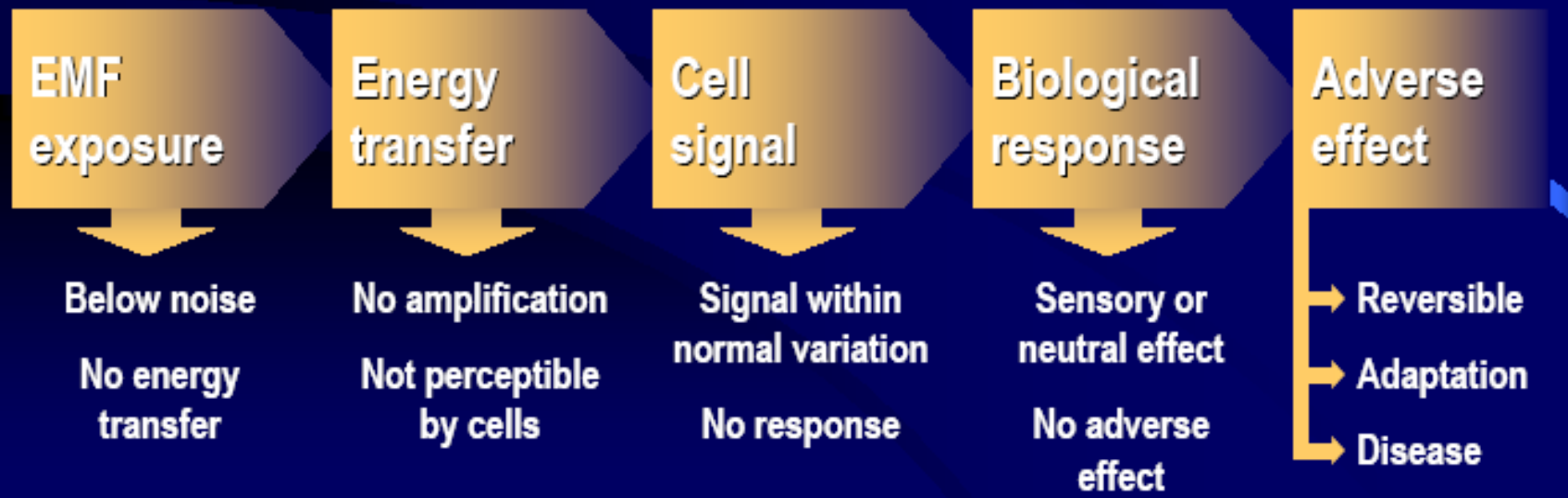


Κατά τα τελευταία πενήντα χρόνια, η τεχνολογική ανάπτυξη κυριολεκτικά σφραγίστηκε από την ευρύτατη χρησιμοποίηση των **ραδιοσυχνοτήτων (Radiofrequencies, RF)** σε ποικίλες εφαρμογές στη βιομηχανία, την ιατρική, την έρευνα κ.α.

Ραδιοσυχνότητες είναι το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που αντιστοιχεί στην περιοχή από 10 kHz έως 300 GHz. Στην περιοχή RF του φάσματος περιλαμβάνονται οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται για ραδιοφωνική εκπομπή AM, FM και βραχέων κυμάτων, για τηλεοπτική εκπομπή VHF και UHF, για τις κινητές και δορυφορικές επικοινωνίες, τις μικροκυματικές ζεύξεις κ.λπ..

Theoretical principles

- ▶ For electric or magnetic fields to cause health effects, they must first *interact* with biological molecules or structures and *induce a change by transferring energy*
- ▶ In turn, this must generate a *signal* that can be sensed and amplified by cells to produce a subsequent *response* of the organism... that might be harmful or not

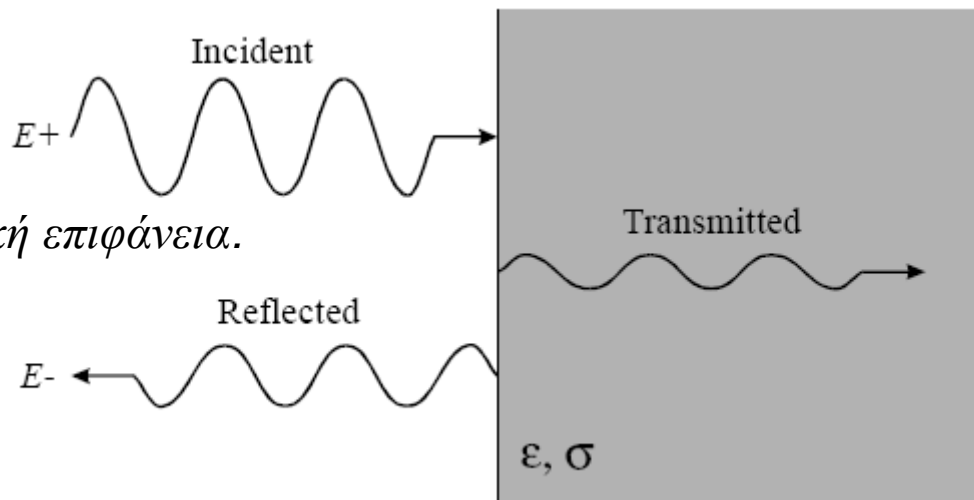




Ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες ανθρώπινου σώματος

Φυσική θεώρηση

Διάδοση Η/Μ κύματος σε διαχωριστική επιφάνεια.



$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

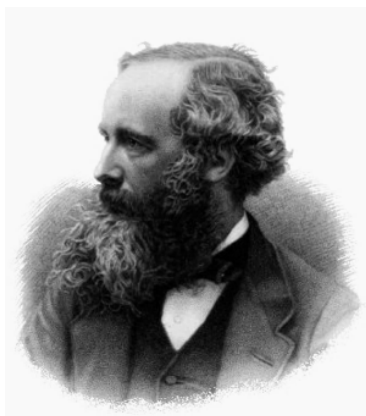
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu\epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu\sigma \vec{E}$$



$$\nabla^2 \vec{E} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} + \mu\sigma \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$



*James Clerk Maxwell,
1831-1879*



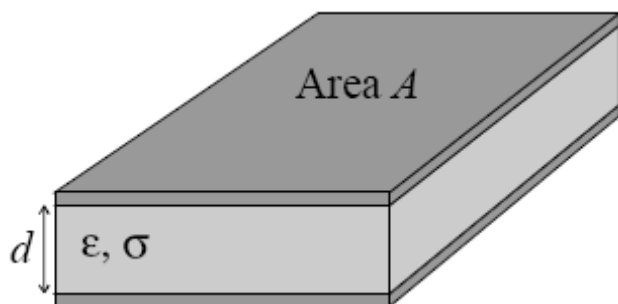
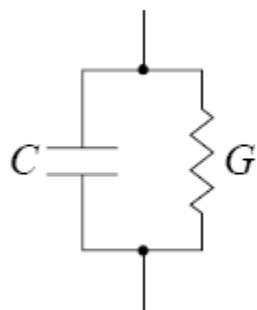
Ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες ανθρώπινου σώματος

Η ηλεκτρική διαπερατότητα του ανθρώπινου σώματος είναι πολύ μεγάλη, ανάλογα με τον ιστό και τη συχνότητα του Η/Μ κύματος που προσπίπτει στο σώμα, και είναι μιγαδικός αριθμός:

$$\varepsilon = \varepsilon' - i \frac{\sigma}{\omega}$$

Ο άνθρωπος δεν είναι μαγνητικό υλικό, οπότε στην εξίσωση $\mu = \mu_r \mu_o$ το $\mu_r = 1$ συνεπώς η μαγνητική διαπερατότητα του ανθρώπου είναι ίδια με αυτή του κενού.

Κάθε ιστός του σώματός μας αποτελεί ένα μικρό κύκλωμα RC όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



η χωρητικότητα του πυκνωτή είναι

$$C = \frac{\varepsilon A}{d}$$

και η αντίσταση είναι

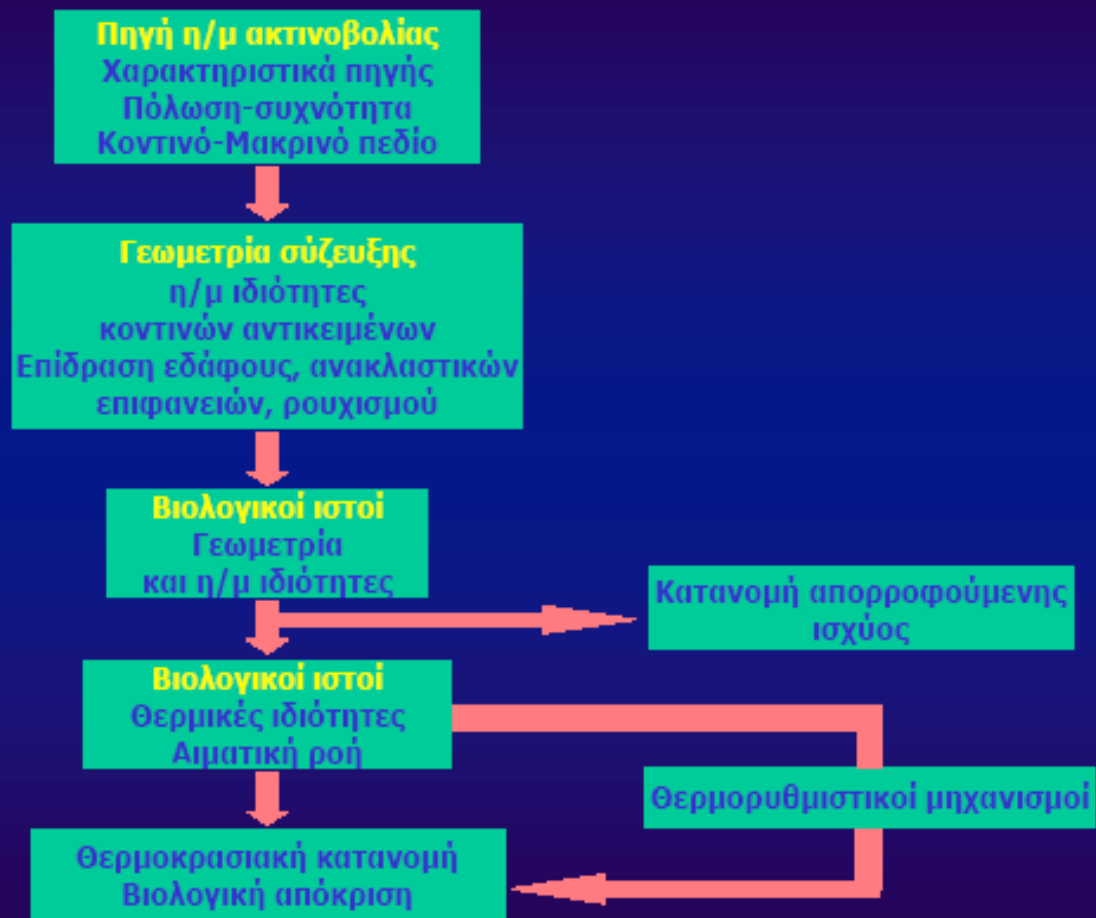
$$G = \frac{\sigma A}{d}$$

όπου σ είναι αγωγιμότητα (σε $S \cdot m^{-1}$), η οποία είναι το αντιστρόφως ανάλογο της ειδικής αντίστασης ρ .

Από την παραπάνω σχέση για την ηλεκτρική διαπερατότητα, η χωρητικότητα γίνεται

$$C = \frac{\varepsilon' A}{d} - i \frac{\sigma A}{\omega d}$$

Σχηματικό Διάγραμμα Αλληλεπίδρασης



Βιολογική δράση των μικροκυμάτων, των ραδιοκυμάτων και των radar

❖ Η ενέργεια της H/M ακτινοβολίας απορροφάται από τους βιολογικούς σχηματισμούς και οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω αύξησης της κινητικής ενέργειας των βιομορίων (π.χ. του νερού), με τρεις κυρίως μηχανισμούς:

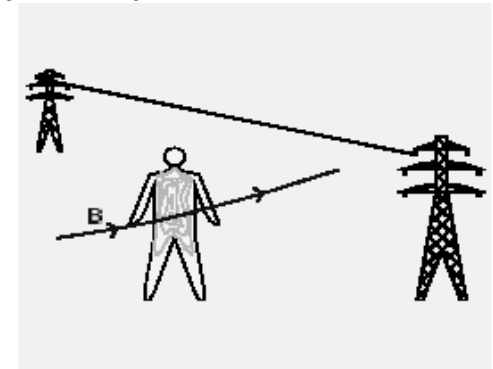
(α) αύξηση της κινητικής ενέργειας των φορέων ηλεκτρικού φορτίου (ιόντων),

(β) δημιουργία ηλεκτρικών διπόλων και επαγωγή πόλωσης στα μόρια,

(γ) προσανατολισμός ήδη υπαρχόντων διπόλων προς μια κατεύθυνση.

❖ Η απορρόφηση των H/M κυμάτων και η κατανομή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου στα βιολογικά συστήματα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως:

- τις διηλεκτρικές ιδιότητες των ιστών,
- την προσπίπτουσα πυκνότητα ισχύος (W/m^2),
- τη γεωμετρία και η μάζα του ιστού,
- την πόλωση του προσπίπτοντος κύματος,
- τη μορφή του ακτινοβολητή, το μήκος κύματος της ακτινοβολίας,
- τον χρόνο έκθεσης.



Βιολογική δράση των μικροκυμάτων, των ραδιοκυμάτων και των radar

❖ Για τη μέτρηση της βιολογικής δράσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ο όρος «Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης, EPA» (Specific Absorption Rate, SAR) που μετράται σε W/Kg και ορίζεται ως:

$$\text{SAR} = (1/10^3) (\sigma/\rho) E^2 \quad (\text{W/Kg}) \quad \text{ή} \quad \text{SAR} = \frac{\sigma |E|^2}{2\rho} \text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$$

όπου σ = αγωγιμότητα του ιστού σε S/m, ρ = πυκνότητα μάζας του ιστού σε g/cm³, E = ένταση ηλεκτρικού πεδίου σε V/m (μέση τετραγωνική ένταση, rms).

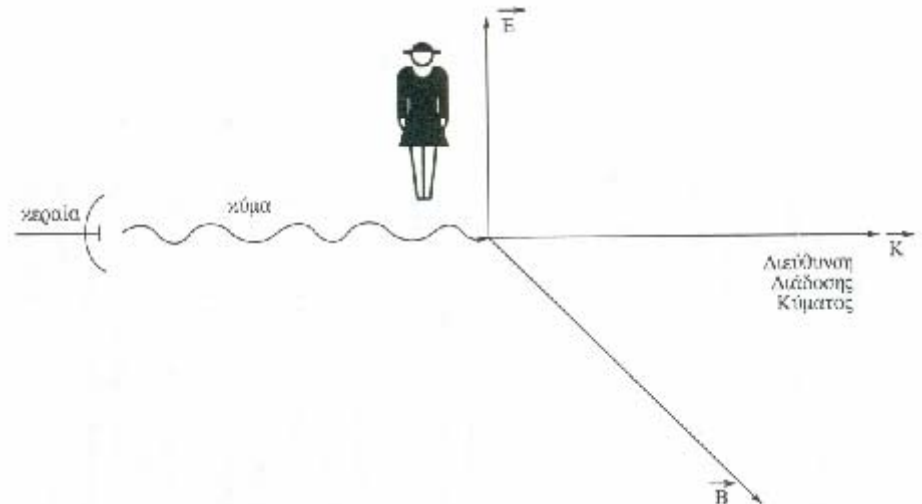
Ο «Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης, EPA» εξαρτάται από:

- (α) τα χαρακτηριστικά της ακτινοβολίας (συχνότητα, πόλωση, ένταση),
- (β) τα χαρακτηριστικά του βιολογικού αντικειμένου (ηλεκτρικές ιδιότητες), τη γεωμετρία του (μέγεθος και σχήμα) και την εσωτερική του δομή
- (γ) την απόσταση μεταξύ της πηγής εκπομπής της ακτινοβολίας και του βιολογικού αντικειμένου (κοντινό ή μακρινό πεδίο) καθώς και από τις ιδιότητες του περιβάλλοντα χώρου.

Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης, EPA (Specific Absorption Rate, SAR)

Ο SAR είναι διαφορετικός για το κάθε είδος ιστού και εξαρτάται επίσης από τη συχνότητα του κύματος και τον προσανατολισμό του σώματος σε σχέση με τη διεύθυνση του ηλεκτρικού, E , και του μαγνητικού, B , πεδίου κύματος. Διακρίνονται οι εξής τρεις περιπτώσεις:

1. Προσανατολισμός $\vec{E}$ του σώματος, όταν το κύμα πέφτει με το ηλεκτρικό πεδίο παράλληλο με το μεγάλο άξονα του σώματος (που συνδέει την κεφαλή με τα πόδια, όπως στο σχήμα).
2. Προσανατολισμός B του σώματος όταν το κύμα προσεγγίζει με το μαγνητικό πεδίο παράλληλο με το μεγάλο άξονα του σώματος, και
3. Προσανατολισμός K του σώματος, όταν η διεύθυνση διάδοσης του κύματος είναι παράλληλη με το μεγάλο άξονα του σώματος.



Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης, EPA (Specific Absorption Rate, SAR)

Θεωρητικές μελέτες αλλά και πειράματα σε ανθρώπους έδειξαν ότι ο SAR παίρνει τη μέγιστη τιμή του όταν ο μεγάλος άξονας του σώματος είναι παράλληλος προς το E (προσανατολισμός E) και έχει μήκος (ύψος ανθρώπου) ίσο με τα 4/10 του μήκους κύματος της ακτινοβολίας. Έτσι ένας άνθρωπος βάρους π.χ. 70 κιλά και ύψους 1,75μ εκτεθειμένος σε επίπεδο κύμα με προσανατολισμό E, θα απορροφά μέγιστη ενέργεια στη συχνότητα των 70MHz, εφόσον βρίσκεται μετέωρος ή πατάει σε απόλυτα μονωμένο έδαφος. Αν πατάει σε αγωγίμο έδαφος (κατά συνέπεια μεταβάλλεται το «ενεργό» μήκος του μεγάλου άξονα), η συχνότητα μέγιστου SAR μειώνεται στα 35MHz. Για ένα ζωικό ιστό πυκνότητας ρ (gr/cm³) και ειδικής θερμότητας C (cal/gr.grad), ο SAR υπολογίζεται, για μια ορισμένη συχνότητα και προσανατολισμό, από τη σχέση:

$$\text{SAR} = 4,166 \rho C \Delta T / \Delta t \text{ (Watts/cm}^3\text{)}$$

αφού μετρηθεί ο χρόνος ακτινοβολήσης Δt (sec) και η αύξηση της θερμοκρασίας του ιστού ΔT σε βαθμούς Κελσίου (grad).

Επειδή ο Ειδικός Ρυθμός Απορρόφησης - EPA, δεν είναι άμεσα μετρήσιμο μέγεθος, συχνά χρησιμοποιείται, ως παράμετρος ηλεκτρομαγνητικής δοσιμετρίας, η πυκνότητα ισχύος ισοδύναμου επίπεδου κύματος (W/m^2 ή mW/cm^2). Τα όρια του EPA ανάγονται σε μέγιστες επιτρεπτές τιμές πυκνότητας ισχύος προσπίπτοντος επίπεδου κύματος, με βάση την προσομοίωση της σύζευξης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με το ανθρώπινο σώμα. Σε συνθήκες μακρινού πεδίου, η πυκνότητα ισχύος δίνεται από τη σχέση:

$$S = \frac{|\underline{E}|^2}{Z_0} = Z_0 |\underline{H}|^2$$

όπου $|\underline{E}| (V/m)$ η ενεργή τιμή του ηλεκτρικού πεδίου $|\underline{H}| (A/m)$ η ενεργή τιμή του μαγνητικού πεδίου και $Z_0 = 377 \Omega$ η κυματική αντίσταση του ελευθέρου χώρου.

❖ Τα μη θερμικά βιολογικά αποτελέσματα των Η/Μ κυμάτων που έχουν αναφερθεί στη διεθνή επιστημονική βιβλιογραφία είναι για παράδειγμα:

- Δέσμευση και απελευθέρωση ιόντων ασβεστίου (Ca^{++}) στον εγκέφαλο,
- Επιτάχυνση της συγκόλλησης καταγμάτων με παλμικά ηλεκτρικά πεδία,
- Επαγωγή ιού από καρκινικά κύτταρα.

TABLE 1. Dielectric Parameters of the Tissue Types Discriminated in the Human Head Model

Tissue type	ϵ_r^a	σ [S/m] ^a
Blood	61.4	1.54
Bone (cancellous)	20.8	0.34
Brain (grey matter)	52.7	0.94
Brain (white matter)	38.9	0.59
Cerebellum	49.4	1.26
Cerebro-spinal fluid	68.6	2.41
Cornea	55.2	1.39
Ear (avg. skin and cartilage)	42.0	0.82
Fat	5.5	0.05
Glands	59.7	1.04
Lenses	46.6	0.79
Lower jaw	20.8	0.34
Middle brain (grey matter)	52.7	0.94
Muscle	55.0	0.94
Skin	41.4	0.87
Skull	20.8	0.34
Spinal cord (grey matter)	52.7	0.94
Spine	20.8	0.34
Thalamus (grey matter)	52.7	0.94
Tongue	55.3	0.94
Upper jaw	20.8	0.34
Lateral ventricles	68.6	2.41
Vitreous humor	68.9	1.64
Generic phantom liquid	42.0	0.85

^aRelative permittivity ϵ_r and the electric conductivity σ for the applied frequency of 900 MHz [Gabriel, 1996].

Εργαστηριακές μελέτες

Υπάρχει πληθώρα βιβλιογραφικών αναφορών για τα βιολογικά αποτελέσματα της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, όμως το μεγαλύτερο μέρος των πειραμάτων έχει πραγματοποιηθεί σε ζώα και είναι αμφισβητήσιμη από πολλούς η δυνατότητα επέκτασης των αποτελεσμάτων στον άνθρωπο.

Καταρρακτογένεση: Σε πειραματόζωα που ακτινοβολήθηκαν με σχετικά υψηλή πυκνότητα ισχύος παρατηρήθηκε η πρόκληση καταρράκτη. Το φαινόμενο αποδίδεται σε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας κατά την έκθεση σε RF ακτινοβολία, εξαιτίας της αδυναμίας του οφθαλμού να απάγει τη θερμότητα.

Μικροκυματικό - ακουστικό φαινόμενο: Στην περίπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας παλμικής φύσεως, όπως αυτή του ραντάρ, έχει παρατηρηθεί ότι άνθρωποι που βρίσκονται κοντά στην πηγή ακούνε ήχο που προέρχεται από συντονισμό του κρανίου. Σύμφωνα με τη σημερινή γνώση, πρόκειται για θερμικό φαινόμενο και οφείλεται σε απότομη μικρή αύξηση της θερμοκρασίας των ιστών.

Επιδράσεις στο νευρικό σύστημα: Οι περισσότερες πειραματικές μελέτες αφορούν στον εγκέφαλο και αναφέρουν μεταβολές στο Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα, στον αιματοεγκεφαλικό φραγμό και στην εκροή ιόντων ασβεστίου.

Επιδράσεις σε κυτταρικό επίπεδο: Επιδράσεις στο DNA και καρκινογενετικά φαινόμενα έχουν μελετηθεί εκτενώς από πολλούς ερευνητές σε διάφορες συνθήκες έκθεσης. Ανάπτυξη καρκίνου του εγκεφάλου έχει αναφερθεί σε ποντίκια που εκτέθηκαν σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία που χρησιμοποιούνται σε ασύρματες κυψελωτές επικοινωνίες. Ωστόσο τα αποτελέσματα αυτά δεν έχουν επιβεβαιωθεί από άλλα ανεξάρτητα εργαστήρια.

Μελέτες σε ανθρώπους

❖ Οι επιδημιολογικές μελέτες σε ανθρώπινο πληθυσμό που εκτίθεται επαγγελματικά σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία ραδιοσυχνοτήτων είναι περιορισμένες σε αριθμό και σε ποιότητα, αναφέρονται δε κυρίως σε εργαζόμενους σε στρατιωτικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Έχει περιγραφεί ότι άτομα που εκτίθενται επαγγελματικά σε μικροκυματική ακτινοβολία παρουσιάζουν σύνολο υποκειμενικών εκδηλώσεων που χαρακτηρίζεται σαν “**σύνδρομο μικροκυμάτων**” και περιλαμβάνει **πονοκέφαλο, ναυτία, ζάλη, κόπωση, διαταραχές ύπνου**. Μερικές μελέτες αναφέρουν υψηλότερο κίνδυνο καρκίνου για επαγγέλματα στα οποία συνυπάρχουν έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και χημικοί παράγοντες.

❖ Πρόσφατα, έχουν γίνει ειδικές μελέτες σχετικά με τη χρήση φορητών τηλεφωνικών συσκευών. Επιδημιολογικές μελέτες στη Σουηδία και τις ΗΠΑ εστίασαν στη διερεύνηση πιθανής σχέσης μεταξύ χρήσης φορητών τηλεφωνικών συσκευών και ανάπτυξης καρκίνου του εγκεφάλου. Παρότι καμιά μελέτη δεν απέδειξε την αύξηση της επίπτωσης καρκίνου του εγκεφάλου σε ανθρώπους που κάνουν χρήση φορητών τηλεφωνικών συσκευών, και στις δύο μελέτες αναφέρεται μια τάση για **υψηλότερη πιθανότητα ανάπτυξης όγκου του εγκεφάλου στην πλευρά που συνηθίζει ο χρήστης να κρατά το τηλέφωνο**. Ο καρκίνος του εγκεφάλου χρειάζεται χρόνια ή ακόμα και δεκάδες χρόνια για να αναπτυχθεί. Η ανίχνευση μικρού ή μακροπρόθεσμου κινδύνου ανάπτυξης καρκίνου είναι εξαιρετικά δύσκολη.

❖ Σε μια πρόσφατη εργαστηριακή μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο του Bristol αναφέρεται ότι η χρήση φορητών τηλεφωνικών συσκευών μπορεί να επηρεάσει θετικά τη γνωσιακή λειτουργία.

Από: Reto Huber, et al., “**Radio Frequency Electromagnetic Field Exposure in Humans: Estimation of SAR Distribution in the Brain, Effects on Sleep and Heart Rate**”, *Bioelectromagnetics* 24:262-276 (2003)

CONCLUSIONS

Our studies demonstrate that exposure to RFEMF emitted by mobile phones has an effect on brain physiology. Changes in EEG power are manifested rapidly when exposure occurs during sleep (Fig. 3). They outlast exposure by at least 15 min when RF EMF is applied during waking prior to sleep [Huber et al., 2000]. Simulations of the SAR distribution within the brain support the interpretation that subcortical structures may be responsible for the observed effect on the sleep EEG.

Additional experiments are needed to identify the field characteristics (e.g., importance of modulation scheme or dose response relations) responsible for the observed EEG effects and to determine the site of interaction (exploration of different exposure locations, i.e., different parts of the head). Our findings of subtle changes in cardiac activity need to be confirmed. It is impossible to draw conclusions about the presence or absence of possible adverse effects of chronic RF EMF exposure based on the acute effects that are available.

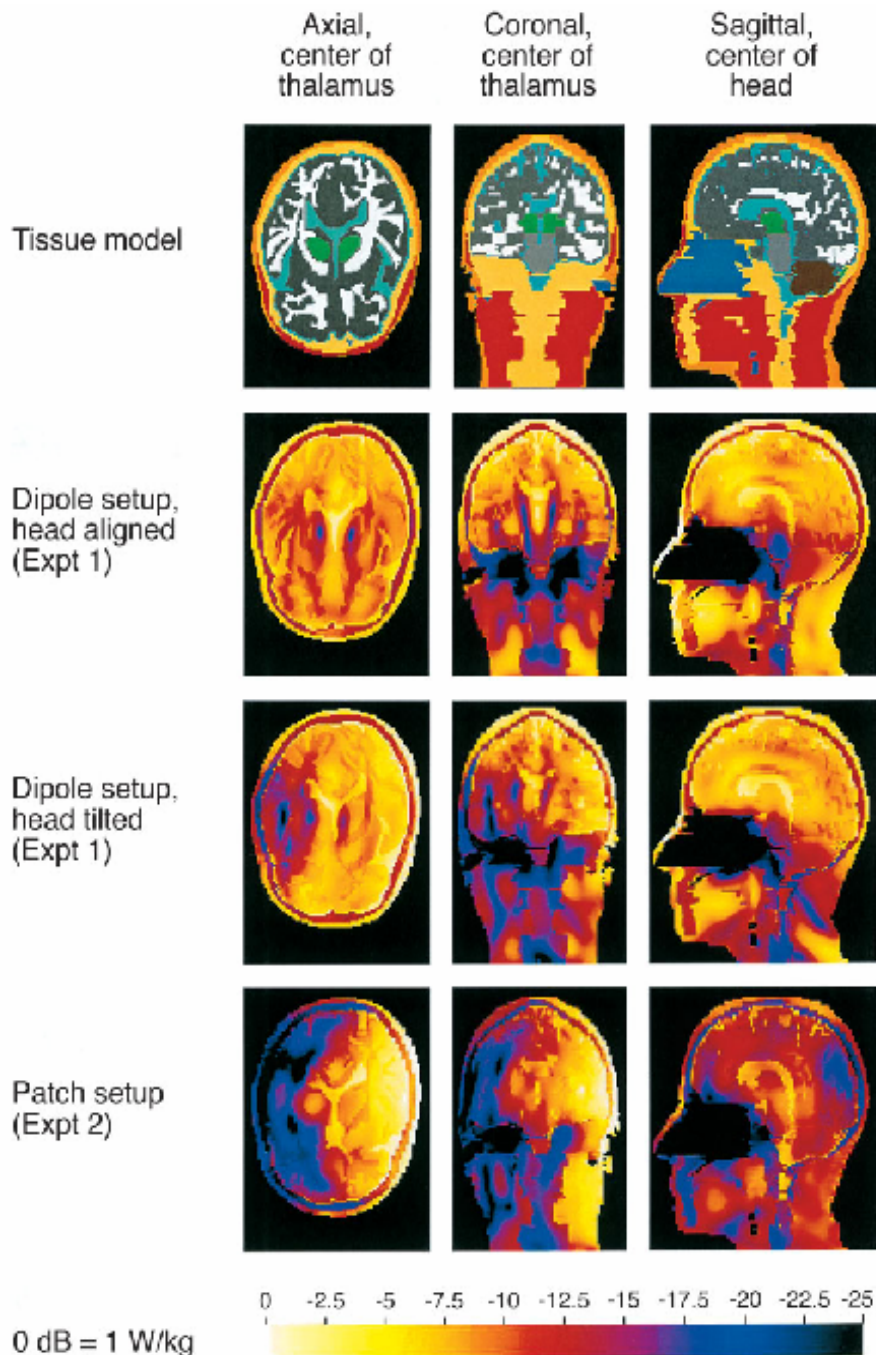
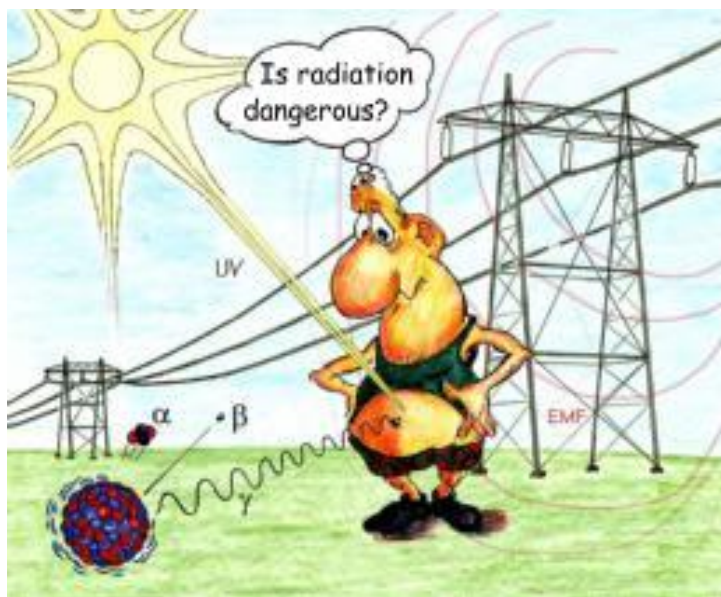


Fig. 2.

Διάφοροι εθνικοί και διεθνείς οργανισμοί έχουν θεσπίσει όρια επικινδυνότητας για έκθεση σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, τα οποία διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα και στους διάφορους επιστημονικούς οργανισμούς. Τα όρια επικινδυνότητας διαφοροποιούνται επίσης ανάλογα με το σε ποιους απευθύνονται, στον **γενικό πληθυσμό** ή στους **επαγγελματικά απασχολούμενους**. Έτσι για παράδειγμα, τα όρια έκθεσης για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στη συχνότητα των 900 MHz (συχνότητα κινητής τηλεφωνίας), τα οποία καθιερώθηκαν το 1988 από τη “Διεθνή Επιτροπή Ακτινοπροστασίας, IRPA” (“International Radiation Protection Association”) [IRPA, 1988] και ισχύουν έως τώρα, αφού επιβεβαιώθηκαν το 1998 από τη “Διεθνή Επιτροπή Προστασίας από τη Μη-Ιοντίζουσα Ακτινοβολία, ICNIRP”, (“International Commission on Non-Ionising Radiation Protection”) [ICNIRP, 1998], είναι:

—————→



Οι *θερμορρυθμιστικοί μηχανισμοί* του ανθρωπίνου σώματος «αντέχουν» μέχρι ένα ρυθμό απορρόφησης 4W/Kg , αποτρέποντας μέχρι το όριο αυτό οποιαδήποτε αισθητή αύξηση της θερμοκρασίας του οργανισμού. Επιβάλλοντας και μια ανοχή, για λόγους «διπλής ασφάλειας», μιας τάξης μεγέθους (10 φορές κάτω), το κριτήριο του καθορισμού ορίων επικινδυνότητας, με βάση τους θερμικούς μόνο μηχανισμούς, διαμορφώθηκε για τους εργαζόμενους από τους Δυτικούς Διεθνείς Οργανισμούς ως εξής:

(α) για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους: μέση τιμή Πυκνότητας Ισχύος = 2.25 mW/cm^2 , ή ολόσωμη μέση τιμή Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης, (SAR) = $0,4\text{ W/Kg}$. Οι μέσες τιμές αυτές αναφέρονται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 6min κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.

(β) για τον γενικό πληθυσμό: μέση τιμή Πυκνότητας Ισχύος = $0,45\text{ mW/cm}^2$, ή ολόσωμη μέση τιμή Ειδικού Ρυθμού Απορρόφησης, (SAR) = $0,08\text{ W/Kg}$. Οι μέσες τιμές αυτές αναφέρονται για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα 6min, κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου.

Τα όρια αυτά έχουν υιοθετηθεί και από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Άλλα όρια έκθεσης έχουν προταθεί από άλλες επιστημονικές οργανώσεις, όπως: ANSI (“American National Standards Institute”) [ANSI, 1982], IEEE, (“Institute of Electrical and Electronic Engineers”) [IEEE, 1992] και NCRP, (“National Council on Radiation Protection and Measurements” - ΗΠΑ) [NCRP, 1995], με ελαφρά μεγαλύτερες τιμές ορίων έκθεσης.

Ένα παράδειγμα υπολογισμού:

Το SAR (Specific Absorption Rate) είναι ένα μέγεθος που μετράει την ενέργεια που απορροφάται από το σώμα μας. Συγκεκριμένα είναι ένα μέτρο της ισχύος που απορροφάται ανά μονάδα βάρους του σώματος μας. Εκφράζεται συνήθως σε W / kg .

Η ποσότητα αυτή είναι ένα μέγεθος που εξαρτάται από την συχνότητα της ακτινοβολίας και την αγωγιμότητα των ιστών, καθώς και από άλλους παράγοντες όπως η ένταση του πεδίου, ο προσανατολισμός του ατόμου σε σχέση με την κατεύθυνση του κύματος, το μέγεθος του σώματος κ.α. Ορίζεται ως

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{2\rho} W \cdot kg^{-1}$$

Η ενέργεια που απαιτείται για να ανεβάσει κατά έναν βαθμό $^{\circ}C$, ένα γραμμάριο ανθρώπινου ιστού είναι 4.186 J.

Συνεπώς η αύξηση της θερμοκρασίας μέσα σε χρόνο Δt είναι:

$$\Delta T = \left(\frac{SAR}{\text{ενέργεια θέρμανσης ενός Kg κατά } 1^{\circ}C} \right) \Delta t = \frac{J \sec^{-1} Kg^{-1} \sec}{J^{\circ}C^{-1} Kg^{-1}} = ^{\circ}C$$
$$\Delta T = \left(\frac{SAR}{4.186 \times 10^3} \right) \Delta t \text{ } ^{\circ}C$$

Ας δούμε πως μπορεί να ανεβάσει την θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος η απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας .

Για παράδειγμα ας υποθέσουμε οτι έχουμε ένα πεδίο εντάσεως 41.25 V /m (που είναι η μέγιστη ορισμένη τιμή για κινητή τηλεφωνία στα 900 MHz) το οποίο διαδίδεται μέσα σε ανθρώπινους ιστούς αγωγιμότητας σ και πυκνότητας ρ . Θέλουμε να υπολογίσουμε την άνοδο της θερμοκρασίας αυτών των ιστών μέσα σε μία ώρα .

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{2\rho} W \cdot kg^{-1}$$

$$\Delta T = \left(\frac{SAR}{4.186 \times 10^3} \right) \Delta t \text{ } ^\circ C$$

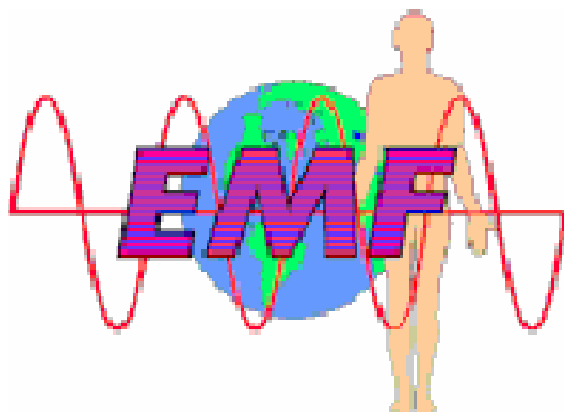
Τα αποτελέσματα του παραδείγματος βρίσκονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ. Αύξηση θερμοκρασίας στα 900 MHz.				
ΙΣΤΟΣ	σ (S m⁻¹)	ρ (kg m⁻³)	SAR (W kg⁻¹)	ΔT (°C)
ΜΥΣ	0.8	1040	0.654447	0.562830773
ΔΕΡΜΑ	0.9	1080	0.708984	0.609733337
ΝΕΥΡΑ	1.2	1030	0.991201	0.852442724
ΟΣΤΟ	0.3	1850	0.137965	0.118650812

Φυσικά εδώ χρησιμοποιήσαμε τη μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της E, όπως αυτή προσδιορίζεται για τη συγκεκριμένη συχνότητα, γι' αυτό και βρήκαμε τόσο μεγάλη αύξηση στη θερμοκρασία των ιστών.

Όριο SAR για ολική απορρόφηση ακτινοβολίας από το σώμα μας: 0.08 W / kg.

Όριο SAR για ολική απορρόφηση ακτινοβολίας από τους ιστούς μας: 1.6 W / kg.



Τι όρια ισχύουν στη χώρα μας;

Στη χώρα μας έχει εκδοθεί η Κοινή Υπουργική Απόφαση υπ' αριθμόν 3060 (ΦΟΡ) 238 (ΦΕΚ 512/Β' /25-04-2002) με θέμα "Μέτρα προφύλαξης του κοινού από την λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων". Σ' αυτήν προσδιορίζονται τα επίπεδα αναφοράς και οι βασικοί περιορισμοί για την προστασία του κοινού από στατικά και ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία εξαιρετικά χαμηλής συχνότητας όπως ακριβώς αυτά καθορίστηκαν στη σχετική Σύσταση της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ	ΓΕΝΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ
Μαγνητική Επαγωγή (B)	100 μ T
Ένταση Ηλεκτρικού πεδίου (E)	5 kV/m

Όρια ασφαλείας έκθεσης για την συχνότητα των 50Hz στην Ελληνική νομοθεσία

Φυλλάδια της ΕΕΑΕ με εκλαϊκευμένη παρουσίαση των σχετικών θεμάτων



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Κινητή Τηλεφωνία και Υγεία

Ερωτήσεις & Απαντήσεις



Χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία



ΑΘΗΝΑ 2005



Από τα φυλλάδια της ΕΕΑΕ με εκλαϊκευμένη παρουσίαση των σχετικών θεμάτων



Ποια φυσικά μεγέθη περιγράφουν την ένταση της ακτινοβολίας;

Υπάρχουν τρία φυσικά μεγέθη που περιγράφουν της ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας:

- η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, που μετράται σε V/m
- η ένταση του μαγνητικού πεδίου, που μετράται σε A/m
- και η πυκνότητα ισχύος που μετράται σε W/m².

Σε συνθήκες επίπεδου κύματος, δηλαδή όταν η απόσταση από την κεραία είναι αρκετά μεγαλύτερη από τις διαστάσεις της κεραίας, τα τρία αυτά μεγέθη είναι μεταξύ τους συνδεδεμένα μέσω απλών μαθηματικών σχέσεων και η γνώση του ενός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των άλλων δύο. Πολύ κοντά στις κεραίες σε σχέση με τις φυσικές τους διαστάσεις η ένταση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου δεν συνδέονται μεταξύ τους με σταθερή σχέση και η πυκνότητα ισχύος δεν ορίζεται.

Από τα φυλλάδια της ΕΕΑΕ με εκλαϊκευμένη παρουσίαση των σχετικών θεμάτων

Πίνακας. Βασικοί περιορισμοί της Σύστασης της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την απορροφούμενη ενέργεια στο σώμα ενός ανθρώπου που κατατάσσεται στο γενικό κοινό από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην περιοχή των ραδιοσυχνοτήτων (περιλαμβάνονται και οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας).

Φυσικό Μέγεθος	Όρια ΕΕ (W/kg)	Ελληνικά όρια ¹	
		70% ορίων ΕΕ (W/kg)	60% ορίων ΕΕ (W/kg)
Μέσος ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) ολόκληρου του σώματος	0,08	0,056	0,048
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στο κεφάλι και στον κορμό	2	1,4	1,2
Τοπικός ρυθμός ειδικής απορρόφησης (SAR) στα άκρα	4	2,8	2,4

1. Στο περιβάλλον σταθμών κεραιών

Πυκνότητα ισχύος ισodύναμης επιπέδου κύματος	Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου ¹	Ένταση Μαγνητικού Πεδίου ¹	Σύγκριση με τα επίπεδα αναφοράς της Ευρωπαϊκής Ένωσης ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη περιοχή συχνοτήτων σε κάθε σύστημα κινητής τηλεφωνίας			Παρατηρήσεις
P (W/m ²)	E (V/m)	H (A/m)	GSM 900	GSM 1800	UMTS 2100	
0,00001	0,06	0,0002	450.000 φορές κάτω	900.000 φορές κάτω	1.000.000 φορές κάτω	Τυπικά επίπεδα σε αγροτικές περιοχές, μακριά από κεραίες εκπομπής
0,0001	0,19	0,0005	45.000 φορές κάτω	90.000 φορές κάτω	100.000 φορές κάτω	
0,001	0,61	0,0016	4.500 φορές κάτω	9.000 φορές κάτω	10.000 φορές κάτω	Τυπικά επίπεδα σε αστικές περιοχές, μακριά από κεραίες εκπομπής
0,005	1,4	0,0096	900 φορές κάτω	1800 φορές κάτω	2.000 φορές κάτω	
0,01	1,9	0,0052	450 φορές κάτω	900 φορές κάτω	1.000 φορές κάτω	Τυπικές μέγιστες τιμές σε ταράτσες και απολήξεις ψηλών κτιρίων κοντά σε σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας
0,02	2,7	0,0073	225 φορές κάτω	450 φορές κάτω	500 φορές κάτω	
0,05	4,3	0,0115	1,1%	180 φορές κάτω	200 φορές κάτω	
0,1	6,1	0,0163	2,2%	1,1%	1%	
0,2	8,7	0,023	4,4%	2,2%	2%	
0,5	14	0,036	11,1%	5,6%	5%	
1	20	0,051	22,2%	11,1%	10%	
2	28	0,073	44,4%	22,2%	20%	
2,7	32	0,086	60%	30%	27%	Ελληνικά όρια για GSM 900 σε ευαίσθητες περιοχές ²
3,15	35	0,093	70%	35%	31,5%	Ελληνικά όρια για GSM 900 γενικά
4,5	41	0,111	100%	50%	45%	Ευρωπαϊκά όρια για GSM 900
5,4	45	0,122	120%	60%	54%	Ελληνικά όρια για GSM 1800 σε ευαίσθητες περιοχές ²
6	47	0,124	133%	66,7%	60%	Ελληνικά όρια για UMTS 2100 σε ευαίσθητες περιοχές ²
6,3	49	0,131	140%	70%	63%	Ελληνικά όρια για GSM 1800 γενικά
7	51	0,134	156%	77,8%	70%	Ελληνικά όρια για UMTS 2100 γενικά
9	58	0,157	200%	100%	90%	Ευρωπαϊκά όρια για GSM 1800
10	61	0,16	222%	111%	100%	Ευρωπαϊκά όρια για UMTS 2100

1. Στρογγυλοποιημένες τιμές

2. Για τους σταθμούς κεραίων που βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 300 μέτρων από την περίμετρο των κατοικιών εγκαταστάσεων σχολείων, βρεφονηπιακών σταθμών, νοσοκομείων και γηροκομείων

- RF health effects are due to exposures above 4 W/kg causing behavioural changes, reduced endurance
- Basis for International standards
- No health effects below limits

Effects not established:

- ⇒ Memory loss
- ⇒ Cancer
- ⇒ Blood pressure changes
- ⇒ Blood brain barrier
- ⇒ Altered reaction times
- ⇒ Subjective effects (Hypersensitivity)

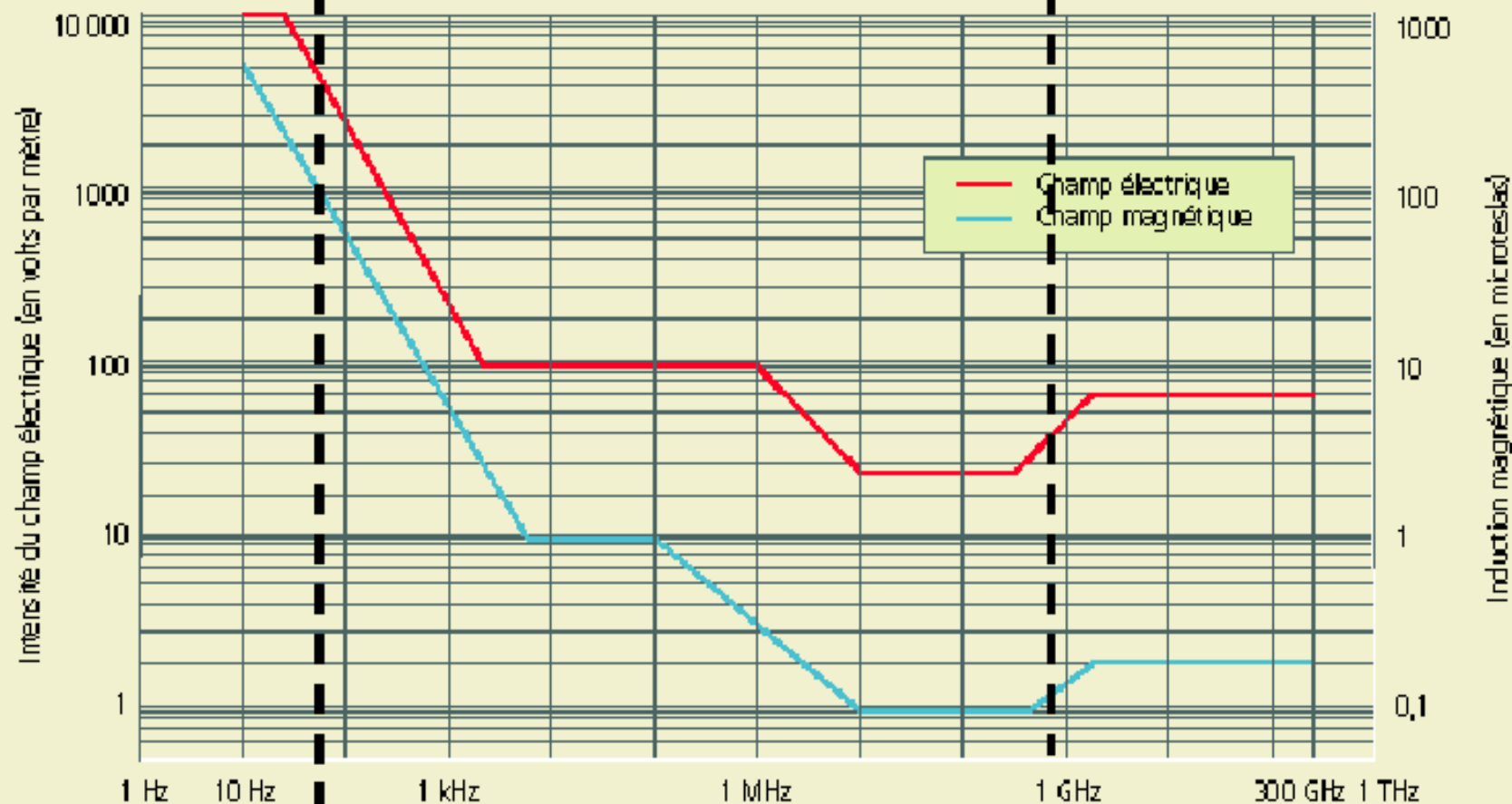


ELF/RF guidelines for the public

E (V/m)

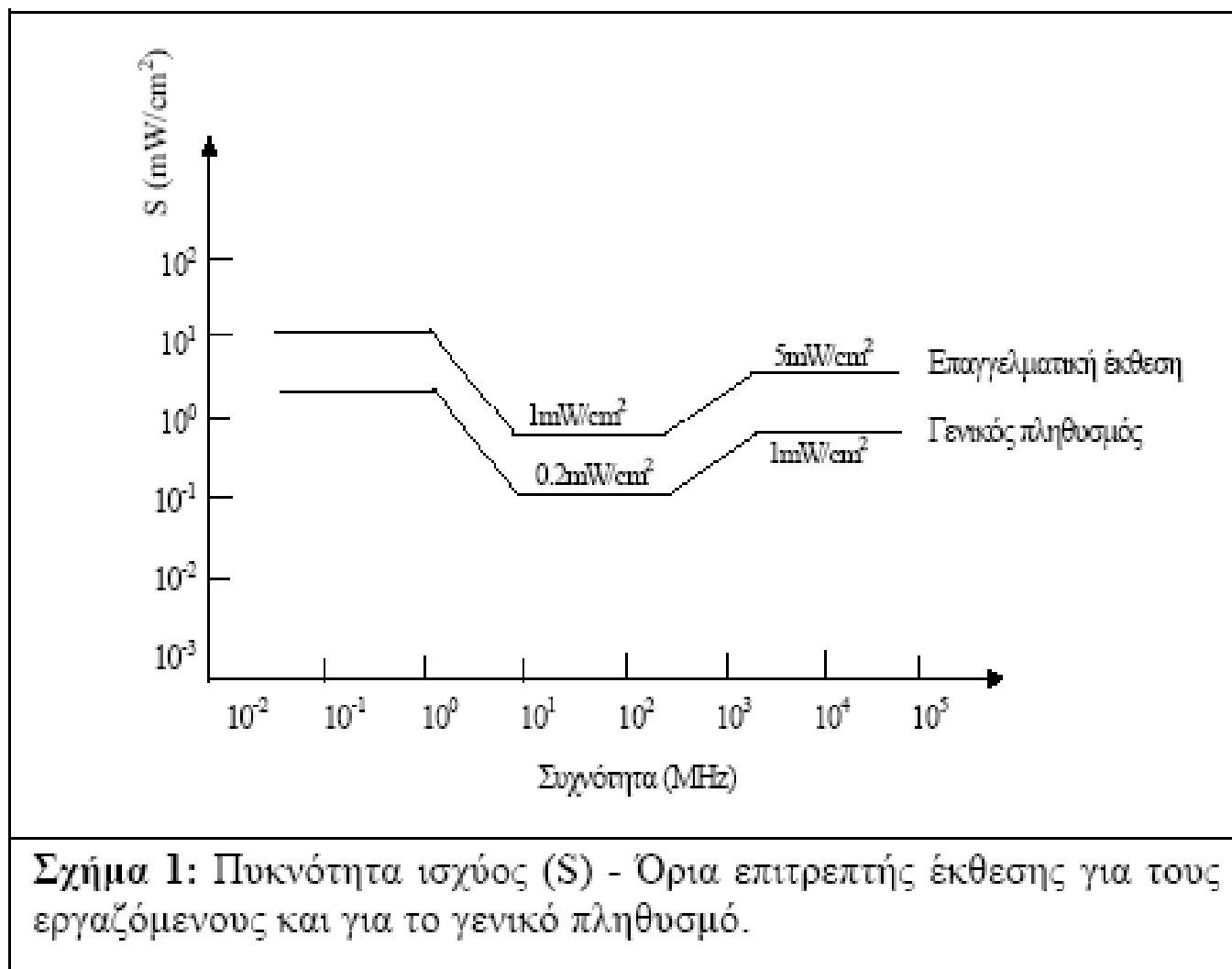
900 MHz

B (μT)

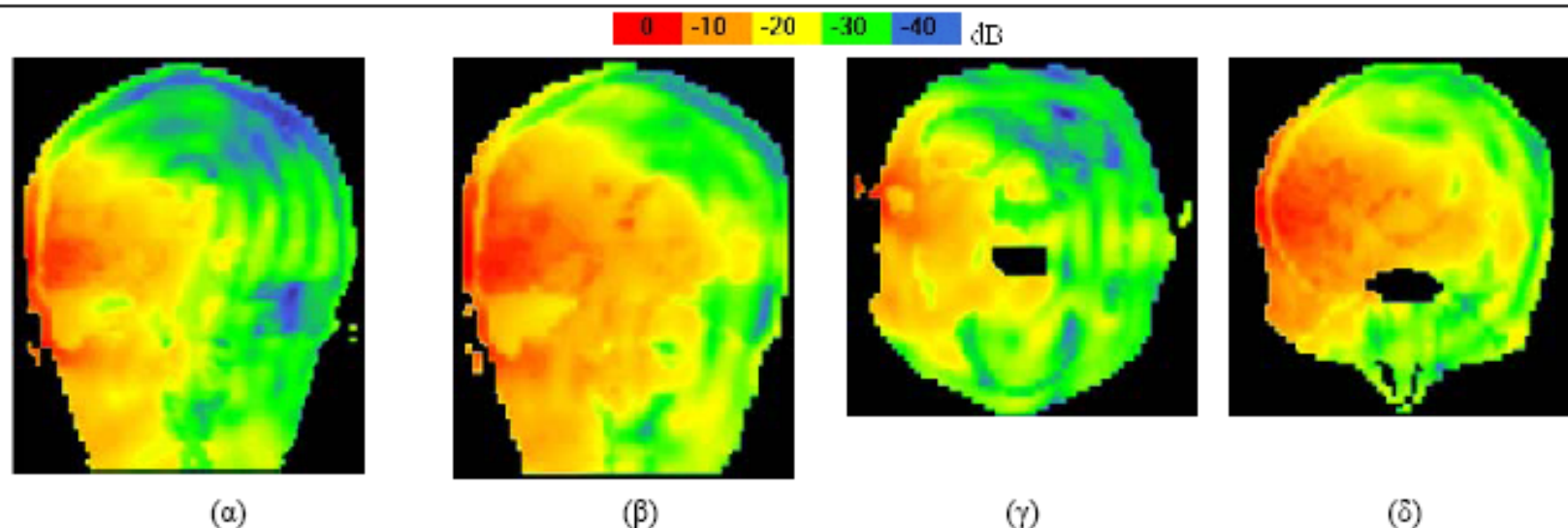


50 Hz

Τα όρια της πυκνότητας ισχύος (στάθμες αναφοράς) για την αποφυγή δυσμενών επιπτώσεων στην υγεία εξαιτίας της έκθεσης σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία παρουσιάζονται στο Σχ. 1.



Στα πλαίσια ερευνητικής εργασίας της Μονάδας Βιοϊατρικών Προσομοιώσεων και Απεικονιστικής Τεχνολογίας (BIOSIM) του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, έχει μελετηθεί με τη μέθοδο των πεπερασμένων διαφορών στο πεδίο του χρόνου (Finite Difference Time Domain, FDTD) η περίπτωση της αλληλεπίδρασης μεταξύ ρεαλιστικού μοντέλου κεφαλιού και φορητής τηλεφωνικής συσκευής. Το χρησιμοποιούμενο μοντέλο κεφαλιού βασίζεται σε δεδομένα μαγνητικής τομογραφίας, αποτελείται από 13 διαφορετικούς ιστούς και όργανα και χαρακτηρίζεται από χωρική διακριτοποίηση 1.25 mm. Μελετήθηκαν συγκριτικά τα χαρακτηριστικά της απορρόφησης ηλεκτρομαγνητικής ισχύος από μοντέλο κεφαλιού ενήλικα και παιδιού ηλικίας 10 ετών. Η τερματική συσκευή αποτελείται από ένα ορθογώνιο κουτί εξοπλισμένο με ένα ελικοειδές μονόπολο που λειτουργεί σε συχνότητα 1800 MHz και τοποθετείται σε κατακόρυφη θέση σε άμεση επαφή με το μοντέλο κεφαλιού.



Σχήμα 2: Κατανομή SAR σε κατακόρυφη τομή (α), (β) και οριζόντια τομή (γ), (δ) ανατομικού μοντέλου κεφαλιού ενήλικα (α), (γ) και παιδιού (β), (δ) εξαιτίας της έκθεσης σε ακτινοβολία φορητής τηλεφωνικής συσκευής εξοπλισμένης με ελικοειδές μονόπολο σε συχνότητα 1800 MHz. Η χρωματική κλίμακα αναφέρεται σε dB ως προς τη μέγιστη τιμή SAR.

Table 1

Overview of investigations on in vitro RF-induced genetic effects

Exposure conditions	Biological model	Biological endpoint	Results	Comments
RF-effects alone				
2.45 GHz, CW, 94 mW/cm ²	Commercialised calf thymus DNA	Analysis of thermal denaturation curves	No difference with unexposed DNA	Control and exposed DNA solutions were maintained at the same temperature
2.45 GHz, 15.2 W/kg	Rat kangaroo cells	Chromosomal aberrations	Increased incidence of unstable chromosome aberrations	The observed aberrations are more commonly associated with ionising radiations
2.45 GHz, 0–200 mW/cm ²	Chinese hamster cell lines	Cytological effects	Cytological effects (nuclear vacuoles, pycnic and decondensed chromosomes, chromosome breakage)	Effects observed under elevated temperature conditions
2.45 GHz, 15 W/kg, long-term exposure (during 320 days)	Rat kangaroo cells	Chromosome aberrations	Increased chromosome aberration frequency	A change in cell population by repeated passage of the cells and senescence may have influenced the results [62,63]
2.45 GHz, CW, 20 min exposure, SAR from 104 up to 200 W/kg (mild hyperthermia)	Human lymphocytes	Chromosomal aberrations and sister chromatid exchanges	No evidence of cytogenetic damage, even under mild hyperthermia	
7.7 GHz, 2 W max. power output, SAR not reported	V79 Chinese hamster cells	Cytogenetic effects	Increased [³ H]thymidine incorporation and chromosome aberrations	Thermal effect probable
7.7 GHz, 2 W max. power output, SAR not reported	V79 Chinese hamster cells	Cytogenetic effects	Effect on colony forming ability, chromosome aberrations and micronuclei	Thermal effect probable
7.7 GHz, 2 W max. power output, SAR not reported	Human lymphocytes	Cytogenetic effects	Chromosome aberrations and micronuclei	Thermal effect probable
2.45 GHz, 50 Hz modulated, 30 and 120 min exposure, 75 W/kg	Human lymphocytes	Chromosome aberrations, micronuclei and sister chromatid exchanges	Increased frequency of chromosome aberrations and micronuclei. No microwave induced sister chromatid exchange frequency or influence on the cell proliferation	Temperature computer-controlled at 36.1°C during the complete exposure time. Yet a heating effect cannot be ruled out

Review

Non-ionizing radiation safety: radiofrequency radiation, electric and magnetic fields

J H Bernhardt

Institut für Radiation Hygiene, Federal Office of Radiation Protection, D-8042 Neuherberg,
Federal Republic of Germany

Received 22 May 1990, in final form 1 August 1991

Contents

1. Introduction	807
2. Radiofrequency radiation	808
2.1. Physical properties	808
2.2. Sources of concern and exposure levels	809
2.3. Mechanisms of interaction	810
2.4. Biological effects	815
2.5. Risk assessment and exposure limits	816
2.6. Protective measures	818
3. Electric fields	819
3.1. Sources of concern and exposure levels	819
3.2. Mechanisms of field interactions	821
3.3. Biological effects	821
3.3.1. Animal experiments	821
3.3.2. Human studies	822
3.3.3. Epidemiological studies	822
3.4. Summary of safety aspects and exposure limits	822
4. Magnetic fields	823
4.1. Sources of concern and exposure levels	823
4.2. Mechanisms of field interactions	825
4.3. Biological effects	827
4.3.1. Animal experiments	827
4.3.2. Human studies	828
4.3.3. Epidemiological studies	828
4.4. Summary of safety aspects and exposure limits	829
5. Special questions	830
5.1. Evaluation of indirect effects	830
5.2. Electromagnetic interference (EMI) with cardiac pacemakers	832
5.3. Safety aspects of magnetic resonance methods	833
6. References	835



ELSEVIER

Available online at www.sciencedirect.com



Progress in Biophysics and Molecular Biology 92 (2006) 119–131

www.elsevier.com/locate/pbiomolbio

Progress in
**Biophysics
& Molecular
Biology**

Review

Adverse effects of ultraviolet radiation: A brief review

Richard P. Gallagher^{a,b,*}, Tim K. Lee^{a,c}

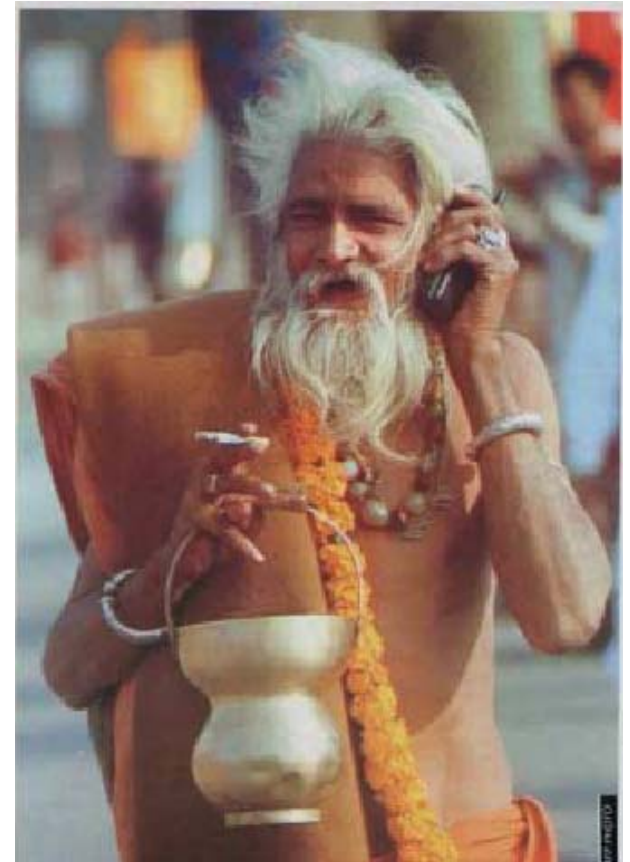
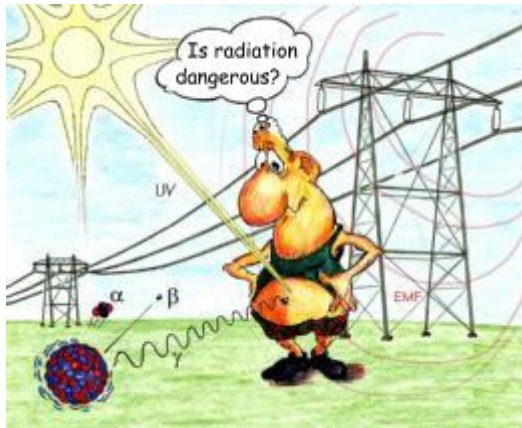
^a*Cancer Control Research Program, BC Cancer Agency, 675 W. 10th Ave., Vancouver, BC, Canada V5Z 1L3*

^b*Department of Health Care and Epidemiology, Faculty of Medicine, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada*

^c*School of Computing Sciences, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada*

Available online 28 February 2006

“Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields”, Verschaeve, A. Maes, *Mutation Research* 410 (1998) p.141–165.



Main risk related to mobile phones



Ενδεικτική Βιβλιογραφία

1. «Intermediate Physics for Medicine and Biology», Russell K. Hobbie, Bradley J. Roth, Fourth Edition, 2007 Springer Science+Business Media, LLC.
2. «ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟ - ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΗΛΕΚΤΡΟΠΛΗΞΙΑΣ ΣΕ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ», Α. Σ. ΣΑΦΗΓΙΑΝΝΗ, (ΒΑΣΙΣΜΕΝΗ ΣΤΟ ΣΥΓΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ Δ. Κ. ΤΣΑΝΑΚΑ «ΕΙΔΙΚΑ ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ - Α΄ ΜΕΡΟΣ – ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ».
3. Κουτρούλης Χαράλαμπος, «Ηλεκτρικά ατυχήματα», *Ηλεκτρολόγος*, τ. 114 Μάης 2001
4. Κουτρούλης Χαράλαμπος, «Ασφάλεια και προστασία των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων. Η επίδραση του ελέγχου των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων στα ηλεκτρικά ατυχήματα», *Δελτίο Π.Σ.Δ. Μ – Η*, τ. 339 Απρ. 2001.
5. Κουτρούλης Χαράλαμπος, «Ασφαλείς ηλεκτρικές εγκαταστάσεις», <http://www.teiher.gr/users/kutrulis/>
6. «ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΟ», Β. Καμπυλαυκά και Φ. Λύκου, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ελλάδα.
7. “Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radiofrequency fields”, Verschaeve, A. Maes, *Mutation Research* 410 (1998) p.141–165.
8. «Static Electricity», Industrial Accident Prevention Association, 2006. Website: www.iapa.ca
9. <http://www.pansmekade.gr/UPLOADS/ELSHOCKsec.pdf>
10. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ, Μ. Χριστοπούλου, Κ. Σπ. Νικήτα, Μονάδα Βιοϊατρικών Προσομοιώσεων και Απεικονιστικής Τεχνολογίας, Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.



Χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία



Μετρήσεις και Αξιολόγηση Εντάσεων Ηλεκτρομαγνητικών Πεδίων στο Νομό Άρτας

97



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ
ΚΑΚΛΑΜΑΝΗ ΔΗΜΗΤΡΑ-ΘΕΟΔΩΡΑ, ΑΝΑΠ. ΚΑΘ. ΕΜΠ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΥΦΥΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ ΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ
ΒΕΝΙΕΡΗΣ ΙΑΚΩΒΟΣ, ΚΑΘ. ΕΜΠ



EUROPEAN COMMISSION
DIRECTORATE-GENERAL HEALTH AND CONSUMER PROTECTION
Directorate C - Scientific Opinions
Unit C2 - Management of Scientific Committees; scientific co-operation and networks
Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment



Brussels,
C2/JCD/csteeop/EMF/RFF30102001/D(01)

**SCIENTIFIC COMMITTEE ON TOXICITY, ECOTOXICITY AND
THE ENVIRONMENT (CSTEE)**

Opinion on

**Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF), Radio Frequency Fields (RF)
and Microwave Radiation on human health**

Radio Frequency Electromagnetic Field Exposure in Humans: Estimation of SAR Distribution in the Brain, Effects on Sleep and Heart Rate

Reto Huber,¹ Jürgen Schuderer,² Thomas Graf,¹ Kathrin Jütz,¹ Alexander A Borbély,¹
Niels Kuster,³ and Peter Achermann^{1*}

¹Institute of Pharmacology and Toxicology, University of Zürich, Zürich, Switzerland

²Integrated Systems Laboratory, ETH Zürich, Zürich, Switzerland

³Foundation for Research on Information Technologies in Society (ITIS), VAW/ETHZ, Zürich, Switzerland

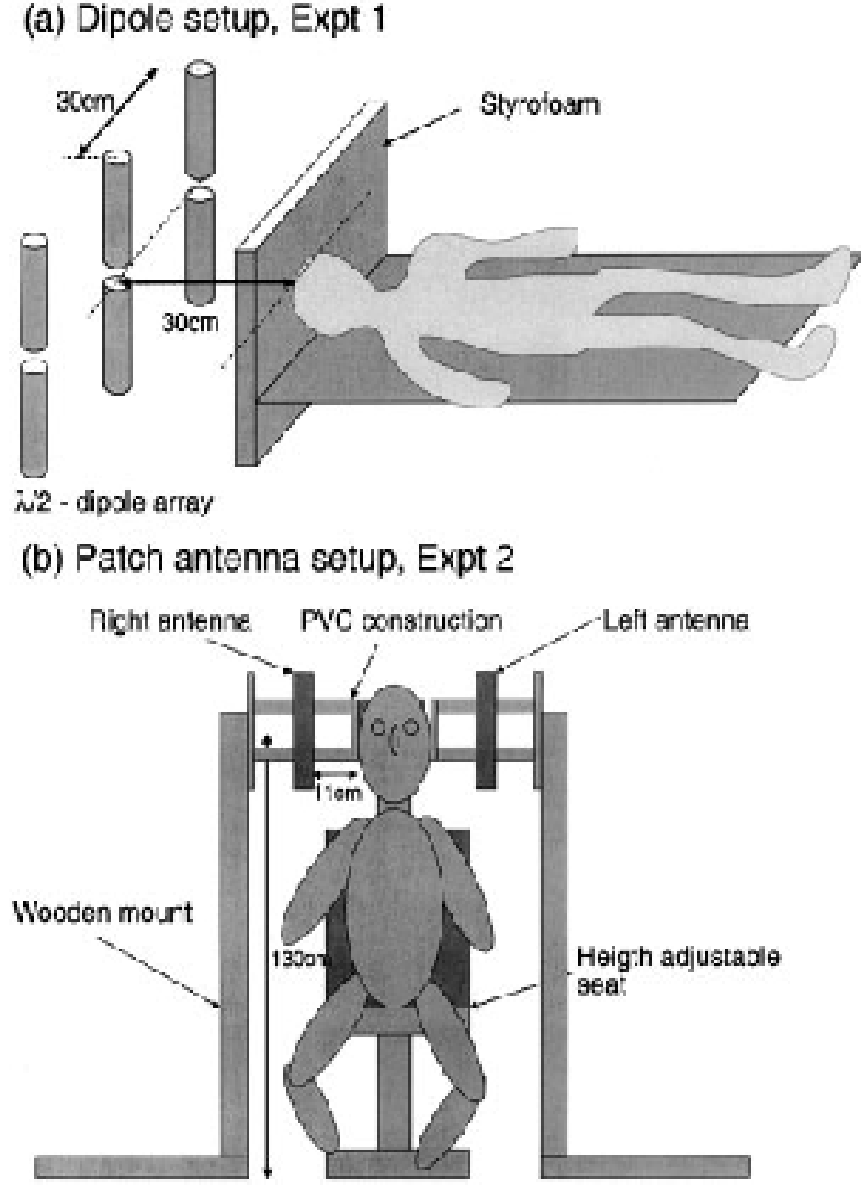


Fig. 1. Schematic diagrams of the exposure setups used in experiments 1 (Expt 1) and 2 (Expt 2).

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα Ε.Μ.Π.**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.