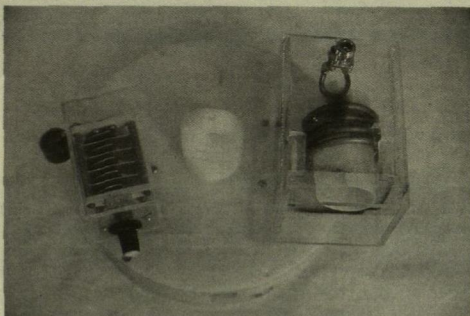


Ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές και βιοϊατρική τεχνολογία

του Ν. Ουζούνoglou*

Η διαγνωστική χρήση ακτινοβολιών στην Ιατρική εγκαταστάθηκε με την ανακάλυψη των ακτίνων X από τον Roentgen στα τέλη του προηγούμενου αιώνα. Η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών τις τελευταίες δεκαετίες διεύρυνε τον ορίζοντα εφαρμογής των ιονιζουσών ακτινοβολιών με την επινόηση μεθόδων τομογραφίας, δηλαδή με την απεικόνιση με υψηλή διακριτικότητα τομών του ανθρωπίνου σώματος, όπως είναι η Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων και η Τομογραφία Εκπομπής ενός Φωτονίου. Ευρέως διαδεδομένη είναι ακόμη η επιλεκτική δράση ακτινοβολίας σε νεοπλασματικούς ιστούς, ως μέθοδος αντιμετώπισης του καρκίνου.



Ακτινοβολητής Υπερθερμίας 27 MHz για εν τω βάθει θέρμανση Όγκων.

Παράλληλα με τις παραπάνω μεθόδους που χρησιμοποιούν ιονίζουσα ακτινοβολία, διαγνωστική εφαρμογή απέκτησαν και μη ιονίζουσες ακτινοβολίες, όπως η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και οι υπέρηχοι. Οι μέθοδοι διάγνωσης που αναπτύχθηκαν στηρίχθηκαν σε μεθόδους που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ραντάρ, και περιλαμβάνουν ευρύτατο φάσμα εφαρμογών που είτε έχουν ήδη κατασταλάξει στη μορφή διαγνωστικών τεχνικών, είτε πάλι βρίσκονται σήμερα σε προχωρημένο πειραματικό στάδιο ή σε ερευνητική φάση. Σε ό,τι ακολουθεί θα παρουσιάσουμε ένα συνοπτικό πανόραμα των διαγνωστικών και θεραπευτικών εφαρμογών των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Διαγνωστικές ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές

(α) Μαγνητικός πυρηνικός συντονισμός: Η απεικόνιση με βάση αυτή την τεχνική, στηρίζεται στην αρχή ότι ένα μαγνητικό δίπολο που εκτίθεται σε στατικό μαγνητικό πεδίο, εκτελεί μεταπτωτική κίνηση, συμπεριφέρεται δηλαδή σαν γυροσκόπιο, με συχνότητα που

εξαρτάται από τον τύπο του διπόλου και την ένταση της πυκνότητας μαγνητικής επαγωγής, κοινώς του μαγνητικού πεδίου B. Επομένως, αν το μαγνητικό δίπολο βρίσκεται στο στατικό μαγνητικό πεδίο και ακτινοβολείται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα ίδιας συχνότητας με εκείνη της μεταπτωτικής κίνησής του, τότε συντονίζεται και εκπέμπει ισχύο σήμα που μπορεί να ανιχνευθεί από έναν ευαίσθητο δέκτη, ενώ παρατηρούνται και εξησυχαστικά φαινόμενα που σχετίζονται με την σύζευξη με άλλα γειτονικά δίπολα και το πλέγμα των μορίων της ύλης.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την εμφάνιση συντονισμού είναι η ύπαρξη μη μηδενικής μαγνητικής ροπής των πυρήνων, συνθήκη που πληρούται από το υδρογόνο του νερού που η πυρηνική μαγνητική ροπή του δε μηδενίζεται. Η τεχνική απεικόνισης στηρίζεται στη δημιουργία «κλίσεων» (gradients) του μαγνητικού πεδίου έτσι ώστε κάθε σημείο του χώρου να έχει διαφορετική συχνότητα μαγνητικού συντονισμού, ενώ χρησιμοποιούνται ειδικές διατάξεις πηγών που ελέγχονται από H/Y. Κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η διαφοροποίηση της απόκρισης των διαφόρων σημείων του ανθρωπίνου σώματος και η απεικόνισή τους μέσω χωρικής μαγνητικής «κωδικοποίησης». Όμως, ο μαγνητικός συντονισμός επιτρέπει και μια λεπτότερη ανάλυση των δεδομένων αξιοποιώντας τη δυνατότητα παρουσίασης των σταθερών εξησυχασμού των πυρήνων. Πρόκειται για *μη-επεμβατική* χημική ανάλυση των ιστών δια της φασματοσκοπίας μαγνητικού συντονισμού, η οποία βασίζεται στην ανάλυση της λεπτής δομής των σημάτων που οφείλεται στην ελαφρά διαφοροποίηση των συχνοτήτων συντονισμού ανάλογα με τη χημική ένωση στην οποία συμμετέχει το συγκεκριμένο άτομο. Τούτο επιτρέπει την διάκριση κακοήθων και καλοήθων όγκων, αν και η ένταση του πεδίου (1.5 Tesla) που απαιτείται αυξάνει αισθητά το κόστος. Τέλος, η μέθοδος αυτή επιτρέπει την απεικόνιση του εσωτερικού της ανθρώπινης κεφαλής, αφού τα οστά δεν συμμετέχουν στο φαινόμενο λόγω της ελάχιστης ποσότητας νερού που διαθέτουν.

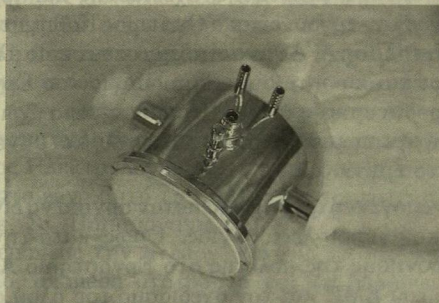
(β) Περιθλαστική τομογραφία. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται σε τεχνικές της τομογραφίας ακτίνων X, που μετρούν την εξασθένιση των ακτίνων X από διάφορες γωνίες για το ανθρώπινο σώμα και στη συνέχεια αντιστρέφουν τις καταγραφές. Η αντιστροφή των δεδομένων αξιοποιεί την ιδιότητα ευθύγραμμης διάδοσης των ακτίνων X και, αγνοώντας την αμελητέα διάχυση

(*) Ο Ν. Ουζούνoglou είναι Καθηγητής και Πρόεδρος του Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

και περίθλαση, απεικονίζει το εσωτερικό του σώματος με καθιερωμένες τεχνικές υπολογισμού από τις μετρήσεις εξασθένησης. Η δυσκολία μεταφοράς της τεχνικής σε μη ιονίζουσες ακτινοβολίες συνίσταται στο ότι η διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής (μικροκυματικής) ακτινοβολίας εμφανίζει ισχυρή εξασθένιση και περίθλαση, με αποτέλεσμα να υστερεί σημαντικά η θεωρία αντιστροφής, παρά το γεγονός ότι στο ζήτημα αυτό έχει επενδυθεί ερευνητική εργασία.

(γ) **Αγωγιμετρία.** Σε ερευνητικό στάδιο είναι και αυτή η τεχνική, η οποία δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης της αγωγιμότητας στο εσωτερικό του σώματος αν μετρηθεί η αγωγιμότητα μεταξύ πολλών σημείων στην επιφάνειά του.

(δ) **Μικροκυματική ραδιομετρία.** Η κεντρική ιδέα αυτής της τεχνικής, είναι η ανίχνευση της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τους ιστούς στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος. Η σημασία της μειώνεται από το μικρό βάθος διείσδυσης των ακτίνων, πράγμα που δεν επιτρέπει την ανίχνευση των θερμοκρασιακών αυξομειώσεων στο εσωτερικό του σώματος.



Ακτινοβολητής 432 MHz για θέρμανση επιφανειακών Όγκων.

Θεραπευτικές ηλεκτρομαγνητικές τεχνικές

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αλληλεπιδρούν με τους ιστούς αυξάνοντας την κινητική ενέργεια των μορίων του νερού, δηλαδή τη θερμοκρασία του ακτινοβολούμενου ιστού. Αυτή με τη σειρά της διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη βιολογική συμπεριφορά των κυττάρων αλλά και τις ιδιότητες των ιστών: η απόκριση των καρκινικών κυττάρων και των νεοπλασματικών ιστών σε υψηλές θερμοκρασίες της τάξης 42,5 °C - 46 °C, είναι διαφορετική συγκρινόμενη με εκείνη των υγείων ιστών. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται σε διάφορα αίτια, όπως την υποξυγόνωση και ισχαιμική διατροφή των καρκινικών ιστών, τη συνεργατική δράση της ιονίζουσας ακτινοβολίας με την υπερθερμία, τη μεταβολή του PH και αλλοίωση της διαβατότητας των κυτταρικών μεμβρανών. Στην πράξη, απαιτείται η επιλεκτική θέρμανση νεοπλασματικών ιστών σε 43° περίπου, ενώ οι υγιείς οφείλουν να παραμένουν σε 41,5 °C το πολύ, γεγονός που επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο σχεδιασμό συστημάτων ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Πρακτικά αντιμετωπίζονται οι ακόλουθες περιπτώσεις:

(α) **εξωφυτικοί όγκοι,** που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του σώματος. Η θέρμανση επιτυγχάνε-

ται: (1) με μικροκυματικούς ακτινοβολητές (κυματοδηγούς) που εφάπτονται στον όγκο,

(2) με ενδοϊστικές τεχνικές, στις οποίες ηλεκτρόδια εισέρχονται στον όγκο και ακτινοβολούν ραδιοσυχνότητα 1 MHz.

Το πλεονέκτημα της πρώτης περίπτωσης έγκειται στη μη τραυματική φύση της μεθόδου, πράγμα που δεν συμβαίνει στη δεύτερη. Αντιθέτως, ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι ευκολότερος στη δεύτερη περίπτωση, ενώ στην πρώτη απαιτείται η χρήση πρόσθετου καθετήρα που εισέρχεται στον όγκο.

(β) **εν τω βάθει όγκοι,** που βρίσκονται στο εσωτερικό του σώματος. Εδώ χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες μέθοδοι: (1) Θέρμανση με χωρητικά ηλεκτρόδια, που στηρίζεται στην αρχή θέρμανσης κατά Joule. (2) Θέρμανση με επαγωγικούς ακτινοβολητές, στην οποία τα κύματα από βροχοκεραίες διεισδύουν στο σώμα. (3) Θέρμανση με πολλαπλούς ακτινοβολητές με φασική συνθεση, η οποία επιτυγχάνει την εστίαση της ακτινοβολίας στο σημείο όπου τα πεδία πολλών ακτινοβολητών αθροίζονται «εν φάσει», αν και το φαινόμενο αυτό υπολείπεται σε απόδοση των αντίστοιχων τεχνικών που χρησιμοποιούνται στα ραντάρ ή τις τηλεπικοινωνίες, λόγω ισχυρών απωλειών των ακτίνων καθώς διέρχονται μέσα από το σώμα.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι η επιλογή της συχνότητας λειτουργίας είναι η κρίσιμη παράμετρος στα συστήματα υπερθερμίας. Οι υψηλές συχνότητες (300 - 2.500 MHz) εμφανίζουν καλή κατευθυντικότητα αλλά περιορισμένο βάθος διείσδυσης, ενώ αντίστροφες επιδόσεις έχουμε όταν η συχνότητα είναι χαμηλότερη (10 - 100 MHz)

Ερευνητική εργασία το Ε.Μ. Π

Η ερευνητική ομάδα μικροκυμάτων του ΕΜΠ έχει αναπτύξει τα τελευταία χρόνια συστήματα ακτινοβολιών υπερθερμίας που κατασκευάζονται εξ ολοκλήρου στο Πολυτεχνείο:

(α) **Μικροκυματικούς ακτινοβολητές** για επιφανειακούς όγκους στη συχνότητα 433 MHz, οι οποίοι έχουν ήδη εγκατασταθεί στο Αρεταίειο Νοσοκομείο του Π.Α., το Θεαγένειο της Θεσσαλονίκης, το Ιπποκράτειο Νοσ. Αθηνών και το Παν/μιακό Νοσ. του Dusseldorf στη Γερμανία, ενώ ετοιμάζονται και άλλα συστήματα για νοσηλευτικά ιδρύματα εσωτερικού και εξωτερικού.

(β) **Συστήματα «εν τω βάθει» υπερθερμίας,** όπως είναι το «ΕΣΤΙΑ» και το «ΟΚΤΩ» που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο διδακτορικών διατριβών. Επίσης, σε τελικό στάδιο ανάπτυξης βρίσκονται ενδοκοιλοτικοί ακτινοβολητές.

Ακόμη, η έρευνα του εργαστηρίου μικροκυμάτων περιλαμβάνει και ηλεκτρομαγνητικά διαγνωστικά συστήματα, όπως σύστημα απεικόνισης με μαγνητικό συντονισμό και εργαστηριακό φασματογράφο 24 MHz, ενώ στα θεωρητικά αντικείμενά του συγκαταλέγεται και η αντίστροφη σκέδαση, θεμελιώδες πρόβλημα του ηλεκτρομαγνητισμού.