

INTERACȚIUNEA RADIAȚIEI ELECTROMAGNETICE CU SISTEMELE BIOMOLECULARE

Natalia GUBCEAC^{1,2}

¹Universitatea Tehnică a Moldovei, Facultatea de Electronică și Telecomunicații, Departamentul Fizica, Chișinău, Republica Moldova

²Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie "Nicolae Testemițanu", Facultatea de Medicină, Catedra de Fiziologie a Omului și Biofizica, Chișinău, Republica Moldova

Autorul corespondent: Gubceac Natalia, natalia.gubceac@scee.utm.md

Rezumat. În această lucrare este prezentată o descriere a proceselor și efectelor pe care le poate produce radiația electromagnetică la interacțiunea acesteia cu materia vie. Un accent major îl constituie influența undelor electromagnetice de frecvență înaltă din domeniul millimetric și terahertz asupra biomoleculilor. Astfel sunt studiate cele mai relevante modele și teorii, care explică mecanismul de interacțiune a acestor clase de radiații cu biomoleculele.

Cuvinte cheie: radiații electromagnetice, unde milimetrice și terahertz, biomolecule

Introducere

În cercetările moderne ale biomedicinii un rol important îl constituie influența câmpurilor electromagnetice asupra materiei vii [1]. Organismul uman este expus zilnic radiației electromagnetice de diferite frecvențe [2]. Acestea pot proveni de la diverse aparate electrice ori electrocasnice: uscătoare de păr, echipamentul autoturismelor, autobuzelor sau trenurilor, radiatoare, cuptoarele cu microunde, lămpi de neon, cabluri casnice, linii electrice, de la transportarea și folosirea telefonului mobil etc. Aceste surse sunt printre cele mai răspândite surse de radiații electromagnetice. Combinația acestor efecte poate copleși capacitatea de apărare a organismului și mecanismele de protecție ale acestuia. Mecanismele care explică amănunțit legătura dintre radiațiile electromagnetice și diferite boli, nu sunt încă pe deplin studiate, precum și contradictorii. Ținem să menționăm că în prezent se efectuează experimente și studii avansate la această temă.

Modele de studiu a interacțiunii undelor electromagnetice cu materia vie

Este cunoscut faptul că în rezultatul propagării radiației electromagnetice prin diverse sisteme biomoleculare, poate conduce la producere de căldură, poate distruge legăturile chimice ori poate ioniza moleculele. Printre efectele produse asupra biomoleculilor sunt disfuncțiile grave în procesele normale ale celulelor, afectând mecanismele de reparare ale organismului, care pot provoca îmbolnăvirea sau chiar moartea acestora. Radiația electromagnetică poate afecta activitatea normală a sistemelor biologice prin distrugerea ADN-ului celulelor (Fig. 1). Dacă nu are loc o recuperare adecvată a ADN-ului, celulele se pot înmulți necontrolat, ceea ce duce la apariția cancerului. Celulele biologice posedă mecanisme de reparare a ADN-ului limitat, dar, aparent, radiațiile electromagnetice pot influența drastic aceste mecanisme. ADN-ul deteriorat este implicat direct în dezvoltarea multor maladii, inclusiv a diferitor tipuri de cancer.

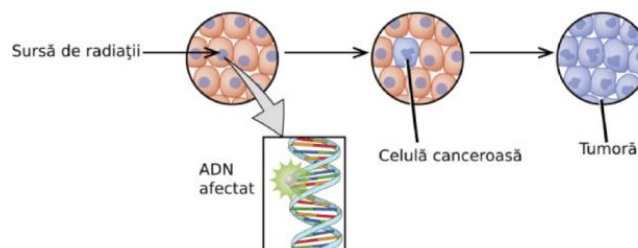


Figura 1. Mecanismul influenței radiației electromagnetice asupra materiei vii [3]

Secreția melatoninei, hormonul produs în organismul uman, este influențată de radiația electromagnetică [3]. Este demonstrat că, nivelurile scăzute ale melatoninei conduc spre apariția diferitor maladii, inclusiv cancerul. Celulele somatice comunică în plan intern și extern prin intermediul semnalelor electrice. Aceste semnale pot fi modificate cu ajutorul radiațiilor electromagnetice prin producerea fluxurilor electrice în cadrul organismului, cauzând modificări în activitatea celulară normală.

În ultimile decenii s-a constatat că anumite clase de unde electromagnetice pot produce și efecte benefice asupra materiei vii. După cum a fost demonstrat, aplicarea practică a undelor electromagnetice din diapazonul milimetric și terahertz reprezintă un interes deosebit pentru medicina modernă [4]. Astfel o mulțime de companii din lume producătoare de aparate medicale încearcă să înlocuească metodele clasice (lezarea țesuturilor în timpul intervențiilor chirurgicale) cu cele non-invazive. Cu toate că rezultatele practice sunt destul de impresionate, un mecanism fizic bine determinat de explicare a proceselor ce au loc în organismul viu nu există. Astfel, există mai multe teorii care explică influența undelor electromagnetice de frecvență înaltă asupra biomacromoleculilor. În continuare vom discuta unele dintre cele mai relevante modele și teorii propuse în acest domeniu.

După cum s-a demonstrat experimental în spectrul undelor milimetrice există câteva frecvențe bine determinate (42.7 GHz, 53.5 GHz și 60.7 GHz), care la o valoare mică a intensității acestora intră în rezonanță cu câmpurile electromagnetice generate de diverse țesuturi vii. În urma acestor interacțiuni pot avea loc schimbări majore în starea funcțională a sistemelor de celule, țesuturi sau chiar la nivel de întreg organism. Radiațiile respective sunt considerate atermice [5], având intensitate joasă (fluxul de putere $<10 \text{ mW/cm}^2$). Pe de altă parte un număr enorm de experimente confirmă efectul terapeutic benefic al undelor milimetrice asupra organismelor vii [6]. Una din teoriile care explică influența undelor electromagnetice de frecvență înaltă asupra biomacromoleculilor este cea a lui Frohlich [7], conform căreia celulele vii sunt capabile să genereze unde milimetrice. Alte studii au arătat că producerea undelor coerente de către celulele vii, reprezintă un proces sistemic cu implicarea membranelor celulare, canalelor proteice, precum și a pompelor celulare de transport activ. Radiația electromagnetică de intensitate joasă contribuie la accelerarea transportului activ al ionilor de sodiu, precum și la modificarea permeabilității membranelor eritrocitare pentru ioni de potasiu [8]. De asemenea a fost observată o accelerare a mecanismului de oxidare a acizilor din componența lipozomilor, care participă la creșterea conductivității ionice în membrana celulară [9].

O teorie aparte o constituie mecanismul disipării energiei undelor milimetrice în mediu biologic neomogen [10]. Această disipare contribuie la apariția fononilor, care joacă un rol important în activitatea celulelor, iar iradierea cu unde MM (milimetrice) sau THz (terahertz) – la modificarea activității metabolice ale acestora. Efectele acțiunii undelor MM și THz în procesul de absorbție și generare ale acestora de către biomolecule au ca efect stimularea creșterii acestora, proces similar cu fotosinteza sau cu dirijarea procesului în urma fotoreacțiilor chimice. Drept urmare, un interes major îl prezintă cercetarea acestor procese care au loc în sistemele biologice cu implicarea radiațiilor MM și THz.

Există multe studii, lucrări experimentale, care explică și demonstrează interacțiunea undelor milimetrice cu diferite tipuri de organite celulare, membrană celulară, macromolecule sau celule în ansamblu. O cercetare amănunțită a fost efectuată în cadrul proiectului "THz-BRIDGE" (TeraHertz radiation in Biological Research, Investigation on Diagnostics and study of potential Genotoxic Effects), realizat în perioada 2001-2004, care a adunat eforturile a zece instituții de cercetare din Germania, Italia, Israel, Regatul Unit și Grecia [11]. În cadrul acestui proiect au fost studiate efectele undelor de 120 și 130 GHz asupra leucocitelor. Ca rezultat al iradierii nu s-a observat afectarea ADN-ului leucocitelor și nici alte efecte asupra limfocitelor. Se menționează faptul ca undele de 100 GHz la o densitate de putere de 0.05 mW/cm^2 , induc un efect genotoxic și epigenetic. Tot în acest studiu a fost cercetată și influența sistemului de imagistică Teraview (de la 0.1 THz până la 2.7 THz) asupra pacienților. Ca rezultat este demonstrat că acest tip de

investigație nu este invaziv și nu afectează pacienții cel puțin pentru un număr redus de investigații. Tot în această cercetare este explicat că poate fi afectată permeabilitatea membranei la iradierea cu unde de 130 GHz cu o frecvență a impulsurilor de 7 Hz și o densitate a puterii de aproximativ 7.8 mW/cm² [12].

Într-o altă cercetare [13] este descrisă influența radiației milimetrice și terahertz asupra vezicilor de dimensiuni celulare (14-30 nm), aflate la adâncimea de 8 mm. Este explicat modul de interacțiune a radiație de 53.37 GHz cu vezicile aflate în glucoză. Pentru aceste condiții este exclusă mișcarea termică cauzată de difuzie. În rezultatul acestui studiu a fost observată o corelație dintre iradiere cu frecvența menționată mai sus și direcția vectorului de mișcare pentru toate vezicile cercetate. Reducerea permeabilității membranei vezicilor cât și micșorarea dimensiunii lor este rezultatul iradierii cu unde de frecvențe 52-72 GHz și cu o densitate de putere între 0.0035 și 0.010 mW/cm². Mecanismul de interacțiune fiind explicat în lucrarea [14].

Formarea fononilor Bose condensați este foarte importantă în mediile biologice ca urmare a interacțiunii undelor milimetrice cu celulele vii [15, 16]. În aceste modele se cercetează evoluția dinamicii fononilor Bose condensați dipol-activi și a fotonilor Fröhlich în mediile biologice pentru diferiți parametri ai sistemului. În calitate de model teoretic este considerat un sistem de celule (molecule) care este radiat cu unde milimetrice, scopul fiind cercetarea mecanismului de formare a fononilor optici și interacțiunea acestora cu câmpul generat de sistemul de celule. După cum s-a observat, undele milimetrice pot influența proprietățile dielectrice ale moleculelor [17]. Astfel a fost demonstrat că în dinamica sistemului de molecule pot apărea oscilații periodice, precum și haotice [18].

Un studiu aparte reflectă posibilitatea de control a sistemului biologic molecular cu ajutorul feedback-ului optic extern [19]. Sub influența feedback-ului extern, sistemul poate fi controlat astfel încât evoluțiile haotice și periodice pot fi transformate în regim de unde continue.

Cu toate că, teoretic, este explicat în multe lucrări că ar exista o corelație între radiațiile electromagnetice milimetrice și terahertz și efectele lor asupra țesuturilor biologice, experimental acest fenomen este negat în multe lucrări. Acesta ar fi încă un motiv în plus care impune o cercetare mai amplă în acest domeniu. În continuare rămân incontestabile rezultate referitor la interacțiunile radiației milimetrice cu membranele celulare și modificarea permeabilității acestora, fapt care poate contribui la controlul reacțiilor biochimice și astfel la starea generală a celulei [20].

Concluzii

Conform studiilor și rezultatelor publicate în literatura de specialitate transmisia și absorbția undelor milimetrice prin țesutul biologic depind de concentrația moleculelor de apă, polarizarea acestora precum și frecvența lor. La frecvențe mici are loc relaxarea dipolului moleculei de apă, iar cu creșterea acestora are loc amplificarea coeficientul de dispersie. Permeabilitatea bună a țesuturilor biologice este o consecință a funcționalității bune al celulelor. Ca rezultat al acestora este clar că datorită proprietăților dielectrice ale țesuturilor biologice pot fi stabilite disfuncțiile fiziologice în organisme.

Mulumiri. Lucrarea dată a fost efectuată în cadrul proiectului 20.80009.5007.08.

Referințe

1. SARIKA S., NEERU K..Health Implications of Electromagnetic Fields, Mechanisms of Action, and Research Needs, In: *Advances in Biology*, 2014, 24 pages, <https://doi.org/10.1155/2014/198609> .
2. *Radiation Sources and Doses*, [online]. [accesat 18.02.2021]. Disponibil: <https://www.epa.gov/radiation/radiation-sources-and-doses>
3. FLOWERS P., THEOPOLD K., LANGLEY R., ROBINSON W. R., *Chemistry 2e*, OpenStax, Texas USA, 2019.

4. DAVIES A. G., LINFIELD E. H., JOHNSTON M. B.: The development of terahertz sources and their applications, In: *Phys. Med. Biol.*, 2002, 47, pp. 3679–3689.
5. HADJILOUCAS S., CHAHAL M.S. AND BOWEN J.W.: Preliminary results on the non-thermal effects of 200–350 GHz radiation on the growth rate of *S. cerevisiae* cells in microcolonies, In: *Phys. Med. Biol.*, 2002, 47, pp. 3831–3841.
6. BLACK D. R., HEYNICK L. N.: Radiofrequency (RF) Effects on Blood Cells, Cardiac, Endocrine and Immunological Functions, In: *Bioelectromagnetics Supplement 6*, 2003, pp. 187-195.
7. FRÖHLICH H.: Bose condensation of strongly excited longitudinal electric modes, In: *Phys. Lett. A*, 1968, 26, pp. 402-403.
8. GELETYUK V.I., KAZACHENKO V.N. : Dual effects of microwaves on single Ca²⁺-activated K⁺ channels in cultured kidney cells (Vero), In: *FEBS Letters*, 1995, 359, pp. 85-88.
9. ZHADOBOV M., SAILEAU R., VIÈ V.: Interactions between 60-GHz millimeter waves and artificial biological membranes: dependence on radiation parameters, In: *IEEE Tras. MW Theory and Tec.*, 2006, 54, pp. 2534-2542.
10. BOLTERAUER H., TUSZYŃSKI J. A., et al: Fröhlich and Davydov regimes in the dynamics of dipolar oscillations of biological membranes, In: *Phys. Rev. A*, 1991, 44 , p. 1366.
11. GALLERANO G. P., *Tera-Hertz radiation in Biological Research, Investigation on Diagnostics and study of potential Genotoxic Effects*, 2004, [online] [accesat 30.09.2021]. Disponibil:<http://www.frascati.enea.it/thz-bridge/reports/THzBRIDGE%20Final%20Report.pdf>.
12. DORIA A., GALLERANO G., GIOVENALE E., MESSINA G., LAI A.: THz radiation studies on biological systems at the ENEA FEL Facility. In: *Infrared Physics & Technology*, 2004, 45, pp. 339–347, doi:10.1016/j.infrared.2004.01.014.
13. ALBINI M., DINARELLI S., PANNELLA F., ET AL.: Induced movements of giant vesicles by millimeter wave radiation. In: *Biochimica et Biophysica Acta*, 2014, 1838(7), pp. 1710–1718.
14. COSENTINO K., BENEDEUCI A., RAMUNDO-ORLANDO A., CHIDICHIMO G.: The influence of millimeter waves on the physical properties of large and giant unilamellar vesicles. In: *J Biol Phys.*, 2013, 39, pp. 395–410, doi: 10.1007/s10867-012-9296-2.
15. ROTARU A.H., CIOBANU N., NICA I., GHEREGHI T., CAIREAC L.: Tranziții conformaționale la interacțiunea câmpului electromagnetic de frecvență extrem de înaltă cu biomacromoleculele intracelulare. In: *Studia Universitatis*, 2007, 7, pp. 226-234.
16. ROTARU, N. CIOBANU, AND V.Z. TONCIU, *Nonlinear phenomena of Frohlich phonons in biological media*, Moldavian Journal of the Physical Sciences 12 (3-4), p. 274 (2013)
17. ROTARU A.H., GHITSU D. V., CIOBANU N., BAZNAT M. I.: Nonlinear Stationary And Nonstationary Cooperative Phenomena Of Bose-Condensed Phonons In Biological Media At Interaction With Coherent Millimeter Waves. In: *Biomedical Radioelectronics*, 2007, 8-9, pp. 47-61.
18. CIOBANU N., RUSU S., TRONCIU V.: Dynamical behavior of Bose-condensed dipole-active phonons and internal Fröhlich photons in biological media. In: *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on E-Health and Bioengineering-EHB 2015*, Iasi, 19-21 November, 2015, pp 978. <http://dx.doi.org/10.1109/EHB.2015.7391369>
19. CIOBANU, N.; GUBCEAC, N.; GRABOVSCI, I.; OLOINIC, T.; TRONCIU, V. Control of interaction of millimeter waves with biological media. *AIP Conference Proceedings*. 2019, 2071, 040011 ISSN 0094-243X doi:10.1063/1.5090078.
20. DONATO L., CATALDO M., STANO P., MASSAD R., RAMUNDO-ORLANDO A.: Permeability Changes of Cationic Liposomes Loaded with Carbonic Anhydrase Induced by Millimeter Waves Radiation. In: *Radiation Research*, 2012, 178, pp. 437–446, doi: 10.1667/RR2949.1