

RADIAȚII ULTRAVIOLETE-C UTILIZATE ÎN DEZINFECȚIE ȘI PROTECȚIA SUPRAFETEI IMPLANTURILOR

Ion MUNTEANU^{1,2*}, Elena STARODUB¹

¹Doctorand, Laboratorul Optica Cuantică și Procese Cinetice, Institutul de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova, str. Academiei, 5, MD2028, Republica Moldova

²Doctoandă, Catedra fiziologia omului și biofizică, Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie „Nicolae Testemițanu”, Bulevardul Ștefan cel Mare și Sfânt nr. 165, Chișinău, MD-2004 Republica Moldova

*Autorul corespondent: doctorand Munteanu Ion, goretz19@gmail.com

Îndrumători/coordonatori științifici: Ciobanu Nelly, dr., conferențiar universitar /
Nicolai A. Enaki, prof., dr. habilitat

Rezumat. Utilizarea pe scară largă a tratamentului cu implant și dezvoltarea de noi metode de implementare deschide noi posibilități de decontaminare și aderență a suprafeței implantului la țesutul organic. Se cercetează setul de efecte moderne la interacțiunea bimoleculară a radiațiilor cu corpul uman în vederea aplicării lor în bioinformatică și medicina modernă. Ne propunem folosirea sistemului optic (cristale fotonice și fibra de cristal fonic) în implanturile moderne pentru a trata infecția de pe suprafața formată la interfața dintre implant și țesutul celular în procesul de slabă aderență. Aceste structuri optice periodice, cum ar fi setul de fibre sau sfere aranjate în mod regulat (cristale fotonice), care sunt depuse pe suprafața implantului, pot fi utilizate ca un volum mare de dispersie sub radiația UVC pentru a trata infecția la suprafața dintre implant și țesut de adeziune. Acest tip de structura optică periodică îmbunătățește aderența implantului la țesutul uman și stimulează creșterea celulară între elemente și implant.

Cuvinte cheie: implant, metamateriale, decontaminare, structuri optice periodice, radiații UVC

Introducere

Odată cu creșterea popularității din ultima perioadă a implanturilor și tratamentelor cu implant, precum și a numărului tot mai mare de metode de implantologie efectuate în ultimul timp, se deschid noi oportunități pentru cercetarea inovatoare în acest domeniu [1-3]. Există posibilități de utilizare a aderenței implantului la țesutul organic împreună cu decontaminarea suprafeței.

Aceste studii științifice sunt stimulate și de o mare incidență a complicațiilor pe termen scurt și lung, care au avut loc recent în experimentarea implanturilor. Una dintre ele este atunci când aderența nu a fost cea mai bună compatibilitate cu procedurile de decontaminare, prin urmare se propune un set de efecte moderne în interacțiunea moleculară a radiațiilor UV-C (Ultraviolete C) cu țesutul uman de pe suprafețele implantului. Dezinfecția UV-C este eficientă la lungimi de undă de la 200 la 300 nm, ADN-ul îl absoarbe, îi distruge structura și inactivează celulele vii. În acest caz nu mai este necesară dezinfecția chimică, odată ce radiația UVC inactivează efectiv virușii, bacteriile, ciupercile și sporii. Totodată dezinfecția bazată pe radiații UV este o metodă fiabilă și prietenoasă cu mediul, la o intensitate de iradiere suficient de mare nu este nevoie de substanțe chimice suplimentare [5-7], iar microorganismele precum virușii, bacteriile, drojdiile și ciupercile devin inofensive în câteva secunde în urma iradierii UV.

Metode și materiale

Ideea principală din această lucrare a fost propusă pentru prima dată în scopul decontaminării fluidelor (cum ar fi apa, plasma sanguină sau sângele). Aici am cercetat amănunțit suprafața totală de decontaminare a structurilor periodice formate din fibre de cuarț sau bile introduse într-un cilindru gros cu diametrul de 3 cm și lungimea de aproape un metru. Radiația ultravioletă a fost focalizată în interiorul acestui cilindru de la un dispozitiv cu șase lampi de mercur ilustrat în (Fig 1) și publicat într-o serie de lucrări [6,7].

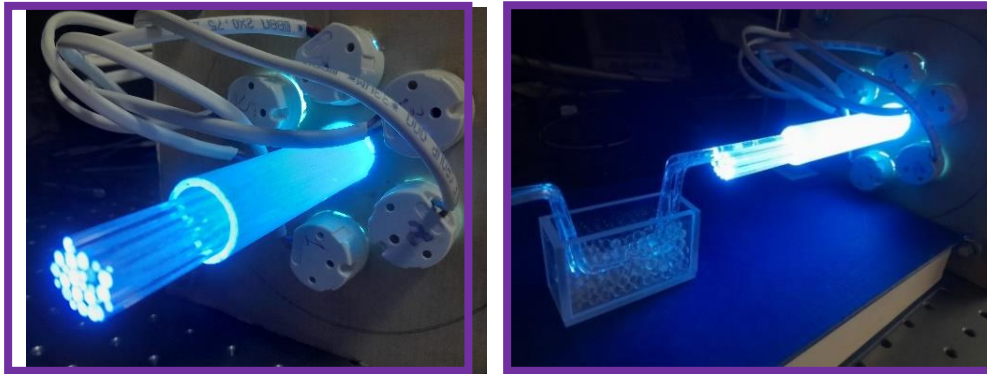


Figura 1. Miezul de cuarț introdus în echipamentul de decontaminare ce conține 6 lămpi UVC.

Conform estimărilor noastre suprafața totală este egală cu suprafața fiecărui element ce se conține în cilindru din figura de mai sus înmulțită cu numărul acestora. Volumul total de decontaminare al fluidului este egal cu suprafața totală înmulțită cu adâncimea de penetrare a radiației ultraviolete din fibră/sferă în fluidul contaminat. Această adâncime de penetrare este egală cu:

$$d = \lambda / \sqrt{2\pi(n_q^2 - n_f^2)} \quad (1)$$

unde $\lambda=254$ nm este lungimea de undă a radiației UVC aplicate, iar n_q și n_f sunt indicii de refracție ai cuarțului, respectiv al fluidului. Această concepție despre volum și suprafață de dezinfecție poate fi transferată la rețeaua de difracție a implantului format din structura optică periodică descrisă mai sus. Dacă grătarul de difracție al implantului este format din sfere în contact, atunci suprafața țesutului organic decontaminat va fi egală cu suprafața unei bile înmulțită cu numărul acestora de pe implant, iar volumul de decontaminare trebuie obținut prin înmulțirea suprafeței totale. prin adâncimea pătrunderii radiațiilor în țesutul organic infectat. Problema este în adâncimea de penetrare a radiațiilor ultraviolete în interiorul fluidului sau țesutului organic. Dacă adâncimea de penetrare este proporțională cu dimensiunea virusului sau bacteriilor reprezentate în (Fig. 2), atunci totul e bine. În această situație, putem înlocui în expresia de mai sus pentru indicele de refracție al fluidului n_f , cu indicele de refracție al țesutului organic $n_t \approx 1,41$. Această adâncime de penetrare nu este dificil de estimat și este egală cu 260 nm împărțită la rădăcina patrata din 2π pe lînga 1,55 (indicele de refracție pentru cuarț) la pătrat minus 1,41 (indicele de refracție al țesutului organic) la pătrat (formula de mai sus).

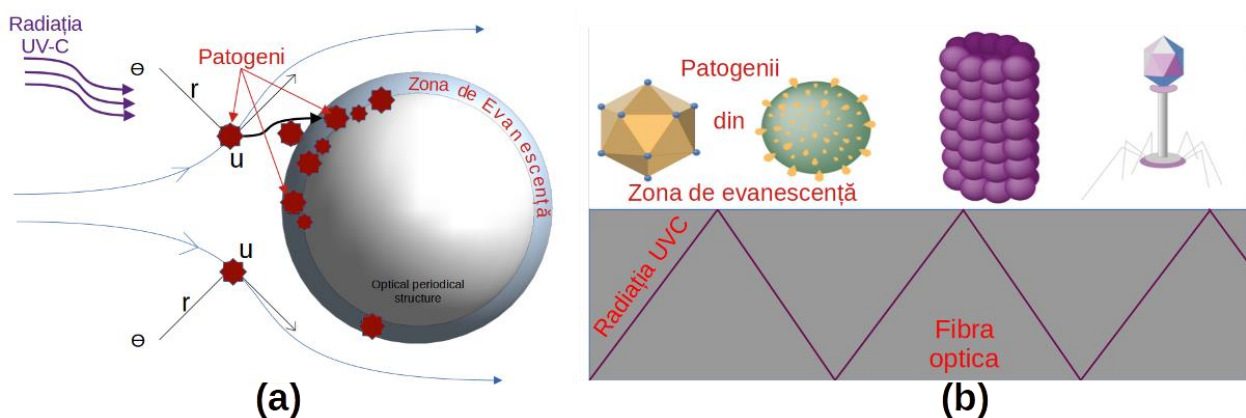


Figura 2. Adâncimea zonei de decontaminare a fiecărui element de metamaterial poate fi comensurabilă la dimensiunea multor virusi și bacterii. (a) sfere, (b) fibre.

Odată cu creșterea grosimii fibrelor sau a razei sferelor de cuarț la ambalarea lor într-un set optic cvasi-periodic, rămâne un volum nedecontaminat [8-10]. Acest volum poate fi ușor de calculat. Este egal cu volumul cilindrului/ dintelui în care au fost introduse fibrele minus volumul fibrelor. Acesta este volumul total liber dintre fibre sau bile. Din acest volum total, doar o parte este utilizată în decontaminarea UVC. Partea care nu este utilizată poate fi calculată.

Volumul expus de adâncimea de penetrare a radiației trebuie scăzut din volumul liber, adică volumul egal cu suprafața totală a fibrei/sferei înmulțit cu adâncimea de penetrare. Acest volum este foarte mic pe măsură ce raza sferelor sau grosimea fibrelor crește. Acest volum este foarte mic în comparație cu volumul liber dintre elemente, prin aceasta ne referim la creșterea razei (grosimea fibrei), volumul nostru liber decontaminat crește. Pentru a o reduce, există o idee care constă în următoarele. Dintre fibrele groase (sau bile cu rază mare), putem introduce fibre subțiri sau bile cu rază mică, vezi Fig. 3.

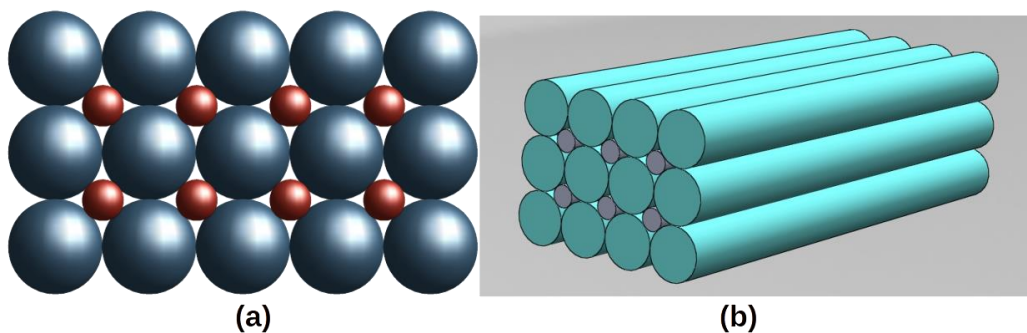


Figura 3. Microsfere(a) și fibre(b) cu structuri optice și diverse geometrii.

Intrând în contact optic cu fibrele groase, fibrele subțiri vor dispersa radiația ultravioletă în volumul nedecontaminat. Astfel, eficiența decontaminării va crește. Acesta va fi egal cu aria fibrelor groase plus aria fibrelor subțiri înmulțite cu adâncimea de penetrare. O situație similară a fost modificată la volumul de decontaminare dintre sferile quart cu o rază de aproximativ 2 mm. Spațiul dintre sferele mari a fost umplut cu sfere cu diametru mai mic, astfel încât volumul total de dezinfectie devine egal cu suprafața totală a sferelor mari și mici înmulțit cu adâncimea de penetrare. Toate aceste idei au fost dezvoltate pentru decontaminarea fluidelor care curg între elementele metamaterialelor și transferate pe implant.

Structurile optice periodice sunt definite ca materiale ale căror elemente au un indice de refracție optică mai mare decât fluidele sau țesutul organic. În concepția interacțiunii a radiațiilor cu materia, este bine cunoscut faptul că materialele dense precum cuarțul au un indice de refracție ($n=1,55$) mai mare decât apa ($n=1,33$) sau alte biomolecule (piele $n=1,4$) și poate ghida radiația de la un element la altul. Am decis să folosim această valoare mare a indicelui de difracție pentru structurile optice periodice pentru a ghida radiația în interiorul apei, având în vedere că între fiecare element al structurii optice periodice și țesut se creează o zonă evanescentă bună pentru pătrunderea radiațiilor în interiorul țesutului. Am observat că, pe de o parte, radiația poate pătrunde în țesutul infectat, iar pe de altă parte țesutul poate crește între elementele unor astfel de structuri periodice. Rămâne o întrebare: cum introducem radiația UVC în astfel de structuri optice de suprafață care acoperă toate suprafețele implantului? Este posibil să se injecteze radiația pe suprafața implantului folosind altă fibră optică [4-5]. În momentul de față, în implant pot fi introduse LED-uri UVC, iar periodicul poate fi pornit sau oprit.

Pentru a trata infecția la suprafața dintre implant și țesutul de aderență, este necesar să existe un volum mare de dispersie de radiații UVC. De aceea propunem ca învelișul implantului să fie realizat din metamaterial, cum ar fi structuri optice periodice.

Sistemul optic periodic este introdus în regiunea mică de adeziv, între implant și țesutul celular, așa cum este reprezentat în (Fig.4).

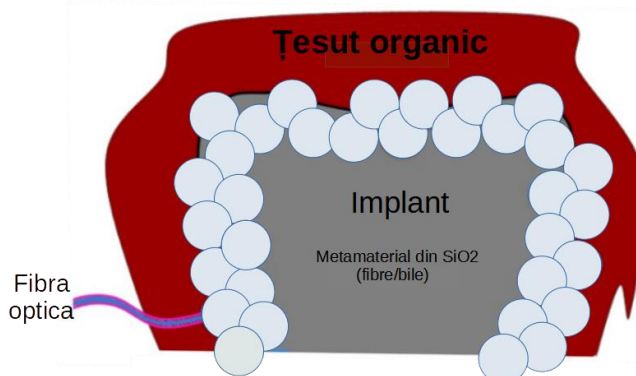


Figura 4. Suprafața implantului acoperită de bule de cuarț în contact cu sursele externe UVC.

Pe de o parte, acest metamaterial poate fi utilizat ca mediu de dispersie a radiațiilor UV (Fig.5a) pe suprafața mare a dintre implant și țesutul de adeziune, oferind efecte bune în tratamentul infecției, iar pe de altă parte, spațiul dintre elementele de material (între microsferă sau fibre) pot fi folosite ca o bună aderență a țesutului la suprafața implantului.

Implantul dentar poate consta dintr-un set de fibre sau bule de cuarț pachet periodic în interiorul cavității cilindrice, așa cum este reprezentat în (Fig.5b). Un astfel de implant dentar poate fi utilizat în implantologie. Pentru gestionarea dezinfectării, putem folosi micul laser UVC în fiecare dimineață. Radiația acestui laser poate fi ghidată în interior, în partea inferioară a implantului, pe care acesta vine în contact cu țesutul organic.

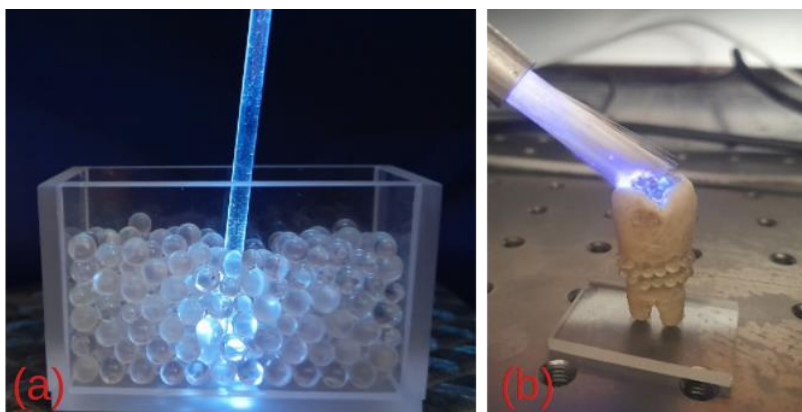


Figura 5. (a) Fenomenul de dispersie a radiațiilor UV fibra-bile. (b) Fenomenul de dispersie a radiațiilor UV set microfibre-bile asupra implantului dentar.

Rezultate și discuții

Experimentele au demonstrat în mod concludent și convingător că atât sferile de cuarț, cât și meta-materialele din fibre în comun cu radiațiile ultraviolete C pot anihila eficient patogenii, de exemplu bacteriile Coliform (inclusiv *Escherichia coli*) sau *Enterococcus*, precum culturile de drojdie și Kombucha [10-11].

Eficiența decontaminării folosind suprafața zonei evanescente a unor astfel de structuri optice cvasi-periodice crește drastic, iar îmbunătățirea contactului mecanic cu țesutul organic și contactul optic între elementele structurilor periodice deschide o nouă perspectivă asupra procedurilor de decontaminare. S-au propus diferite structuri topologice ale meta-materialelor pentru a crește suprafața de contact a radiațiilor UV cu un implant dentar. Legat de reambalarea meta-materialelor, reproducerea miezului de decontaminare a constat din aceste materiale. Luând în considerare diametrele cunoscute a priori ale sferelor mari și mici, putem obține o structură compactă foarte bună, asemănătoare celei solide. Desigur, unele defecte în procedura de reambalare pot persista, dar aici nu observăm o diferență semnificativă.

Concluzii

A fost investigat aspectul interacțiunii radiațiilor UV cu aplicarea dezinfectării pe suprafețele implanturilor și stimularea posibilă a contactului cu sistemul neuronal. În urma investigațiilor experimentale efectuate s-a propus o nouă metodă de excitare a proteinelor prin lumina obținută în procesul indus Raman. Folosind metamateriale (cristale fotonice/ fibre de cristal fotonice) avem posibilitatea de a canaliza radiația UV în zona afectată a sistemului neuronal, transformând această radiație într-un interval spectral cu nanoparticule locale sau impurități implantate în matricea metamaterialului. Îmbunătățirea contactului suprafeței UV cu fluidul contaminat depinde de indicii de refracție al metamaterialului și al fluidului și de proprietățile optice ale virușilor și bacteriilor.

Mulțumiri

- Această lucrare a fost susținută de proiectele: NATO G 4890, Nr. 15.817.02.07F, Nr. 18.80012.50.33A și STCU 6140.
- Aducem sincere mulțumiri îndrumătorului conferențiarului universitar, dr. Ciobanu Nelu, cât și conducătorului științific, Prof., dr.hab. Nicolae A Enaki pentru implicare, susținere și îndrumare.

Referințe

1. ENAKI, N. „Non-linear Cooperative Effects in Open Quantum Systems”, NY, *Nova Science Publishers*, 2015.
2. ZHANG, C., LAN, L., CHENG, J., „Quantification of Lipid Metabolism in Living Cells through the Dynamics of Lipid Droplets Measured by Stimulated Raman Scattering Imaging”, *Analytical chemistry*, 2017 89 (8), 4502-4507 <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b04699>.
3. ENAKI, N., TURCAN, M., PASLARI, T., NISTREANU, A., BAZGAN, S., RISTOSCU, CARMEN., MIHAILESCU, ION., „Efectele optoelectronice în modernizarea implanturilor avansate folosind structura optică periodică”. În: *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. București, 23-26 august 2018, Ediția a 9-a, Vol. 10977. Bellingham, Washington SUA: SPIE, 2018, pp. 1-15
4. STOLIK S, DELGADO JA, PÉREZ A, ANASAGASTI L. „Măsurarea adâncimii de penetrare a luminii roșii și aproape de infraroșu în țesuturile umane „ex vivo” ”. *J Photochem Photobiol B*. 2000 Sep;57(2-3):90-3. PMID: 11154088. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(00\)00082-8](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(00)00082-8)
5. TSEN, SW.D., WU, T.C., KIANG, J.G. et al. „Perspective pentru o nouă tehnologie cu laser cu impulsuri ultrascurte pentru inactivarea agenților patogeni”. *J Biomed Sci*, (2012) 19, 62. <https://doi.org/10.1186/1423-0127-19-62>
6. KOWALSKI, W., „UVGI disinfection Theory”, *Ultraviolet germicidal irradiation handbook*, Springer, 2009, pp.17-50.
7. MATVEEV, M., EROFEEV, A., TEREKHIN, S., PLOTNIKOVA, P., VOROBYOV, K., VLASOVA, O., „Implantable devices for optogenetic studies and stimulation of excitable tissue”, *St. Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics 1*, 2015.
8. RASTOGI RP, RICHA, KUMAR A, TYAGI MB, SINHA RP. „Mecanismele moleculare ale deteriorării și reparației ADN-ului induse de radiațiile ultraviolete”. *J Acizi nucleici*. 2010 Dec 16;2010:592980. <https://doi.org/10.4061/2010/592980>
9. MILLER RL, PLAGEMANN PG. „Efectul luminii ultraviolete asupra mengovirusului: formarea de dimeri de uracil, instabilitatea și degradarea capsidei și legarea covalentă a proteinei la ARN viral”. *J Virol*. 1974 Mar;13(3):729-39. <https://doi.org/10.1128/jvi.13.3.729-739.1974>
10. ENAKI, N., PROFIR A., BIZGAN S., PASLARI T., RISTOSCU T., et al., “Metamaterials for Antimicrobial Biofilm Applications: Photonic Crystals of Microspheres and Optical Fibers for Decontamination of Liquids and Gases” *Handbook of Antimicrobial Coatings Elsevier*, 2017 pp. 257-282
11. ENAKI, N.A., PASLARI, T., BAZGAN, S. et al. „Dependența de intensitatea radiației UVC a ratei de decontaminare a agenților patogeni: teorie și experiment semiclasic”. *EURO. Fiz. J. Plus* 137, 1047 (2022). <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-03252-y>