

CZU: 535:61

DOI: 10.46727/c.v1.16-17-05-2024.p240-245

## PROCEDURA DE INACTIVARE A PATOGENILOR PENTRU DEZINFECȚIA SI PROTECȚIA SUPRAFETEI IMPLANTULUI

### PATHOGEN INACTIVATION PROCEDURE FOR DISINFECTION AND PROTECTION OF THE SURFACE OF IMPLANT

*Munteanu Ion, drd., cercet. șt., Laboratorul optică cuantică și  
procese cinetice, Institutul de Fizică Aplicată, USM*

*Munteanu Ion, PhD Student, scientific researcher at Q.O.K.P laboratory, IFA, USM,*

**ORCID: 0000-0002-5685-8888**

E-mail: goretz19@yahoo.com

**Rezumat.** În ultima perioadă, utilizarea tratamentelor cu implant se bucură de notorietate. Datorită dezvoltării unor forme de patogeni la contactul implant-țesut, există situații de slabă aderență a suprafeței implantului la țesutul organic. Odată ce metodele chimice sau chirurgicale sunt anevoioase în astfel de situații, sunt necesare tehnici noi pentru a putea soluționa aceste fenomene. Propunem aplicarea radiațiilor ultraviolete asupra sistemului optic (cristale fotonice și fibră de cristal fonic) din implanturile moderne pentru a trata infecția dintre implant și țesutul celular în procesul de slabă aderență. Aceste seturi de structuri optice periodice din cuarț, aranjate în mod regulat (setul de fibre sau sfere), sunt depuse pe suprafața implantului și pot fi utilizate ca un volum mare de dispersie a radiației UV-C pentru tratarea infecției dintre implant și țesutul de adeziune. Această structură optică periodică favorizează aderența implantului la țesutul uman, astfel stimulând creșterea celulară între elemente și implant.

**Cuvinte-cheie:** radiație UV-C, decontaminare, inactivare patogeni, implant, metamateriale.

#### Introducere

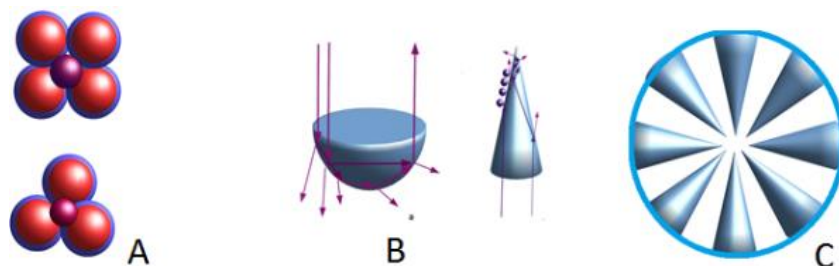
Creșterea popularității din ultima perioadă a tratamentelor cu implant, precum și a numărului tot mai mare de metode aplicate în implantologie, efectuate în ultima perioadă de timp, deschid noi posibilități pentru cercetarea inovatoare în acest domeniu [1-3]. Există diferite oportunități de utilizare a aderenței implantului la țesutul organic împreună cu inactivarea agenților patogeni apăruiți, astfel contribuind la decontaminarea suprafeței dintre implant și țesut.

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 avut 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 cu ajutorul radiațiilor UV-C este eficientă la lungimi de undă de 200-300 nm. Anume acest interval al radiației este absorbit de ADN-ul patogenilor, care, ulterior, îi distruge structura, astfel inactivându-i. Există mai multe studii în acest sens care confirmă acțiunea radiațiilor ultraviolete de tip C ca fiind una foarte eficientă în nimicirea virușilor și bacteriilor [4]. În acest caz, nu mai este necesară dezinfecția chimică, odată ce radiația UV-C inactivează efectiv virușii, bacteriile, ciupercile și sporii. Totodată, dezinfecția bazată pe radiații UV este o metodă fiabilă și prietenoasă cu mediul, la intensități de iradiere suficient de mare nu mai este nevoie de substanțe

chimice suplimentare [5-7], iar microorganismele precum virușii, bacteriile, drojdiile și ciupercile devin inofensive în câteva secunde urmare a acestei iradierii.

### **Materiale și metode**

Radiația UV-C a fost utilizată în mod convențional în sisteme de purificare a aerului, de tratare a apei și a unor maladii de gripă [8]. A venit momentul ca această radiație să fie canalizată prin sisteme optice speciale, precum structurile optice periodice. La dimensiuni reduse de ordinul lungimilor de undă de emisie, aceste sisteme cuplate pot fi numite molecule fotonice, iar în cazul formării unor structuri extinse – cristale fotonice (vezi Figura 1).



**Fig. 1. Molecule fotonice ce conțin microsferă de diferite dimensiuni: a) bile de cuarț; b) con din cuarț; c) elemente împachetate într-un tub de cuarț**

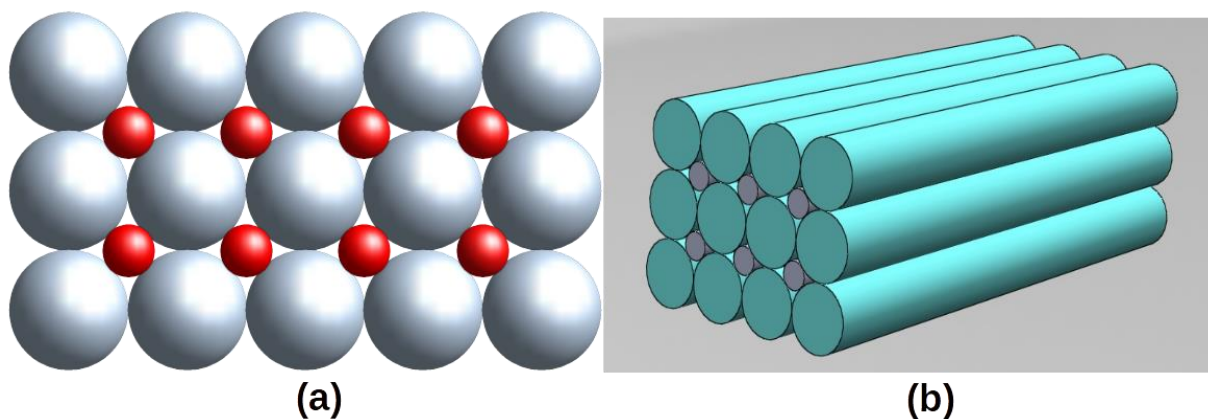
În figura 1A, cu roșu sunt prezentate bilele de cuarț, iar câmpul apropiat din jurul microsferelor – prin albastru. Propagarea luminii ce cade direct pe bazele unei calote sferice și a unui con din cuarț ce suferă multiple reflecții înaintând spre vârful conului, vezi Figura 1B, iar în Figura 1C aceste elemente pot fi împachetate într-un tub de cuarț pentru a mări contactul optic cu fluidul ce se propagă prin el.

Ideea principală a acestei lucrări pentru prima dată a fost propusă în scopul decontaminării lichidelor (cum ar fi apa, plasma sangvină sau sângele). Atunci s-au cercetat amănunțit aspecte ale suprafeței totale 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 circa un metru. Pentru o eficiență crescută a ratei de decontaminare, radiația ultravioletă a fost focalizată în interiorul acestui cilindru, al unui echipament inovativ, dezvoltat în incinta laboratorului, care funcționează cu ajutorul a șase lămpi de mercur cu lungimea de undă de 253.4 nm, ilustrat în Figura 2 și publicat într-o serie de lucrări [6, 7].



**Fig. 2. Tubul de cuarț introdus în echipamentul de decontaminare ce conține 6 lămpi UVC**

În această lucrare ne vom axa doar pe unele structuri cvasi-periodice, în care fluidul (lichid ori gaz) poate ușor penetra spațiul dintre ele la scurgere. O atenție deosebită vom acorda suprafețelor de contact al fluidului cu aceste structuri, numite în literatura de specialitate și metamateriale. Pentru a câștiga în suprafața de contact cu structurile cvasi-periodice, se propune să fie umplut spațiul liber dintre elementele structurii (la împachetarea cubică sau hexagonală) prin introducerea suplimentară a unor elemente mai mici comensurabile cu spațiul dintre bile sau fibre (vezi Figura 3).



**Fig. 3. Împachetarea cubică prin introducerea unor elemente mai mici comensurabile cu spațiul dintre a) bile și b) fibre**

Această necesitate apare odată cu creșterea grosimii fibrelor sau a razei sferelor de cuarț la împachetarea lor într-un set optic cvasi-periodic. Rămâne un volum destul de mare dintre bile/sfere nedecontaminat [8-10], care poate fi ușor de calculat fiind 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 mecanismul de decontaminare cu radiații UVC, iar partea care nu este utilizată poate fi ușor calculată. Din volumul liber trebuie scăzut volumul expus adâncimii de penetrare a radiației UV-C, adică volumul egal cu suprafața totală a fibrei/sferei înmulțit cu adâncimea de penetrare. În caz că raza sferelor sau grosimea fibrelor crește, atunci volumul va fi unul foarte mic. Acest volum va fi foarte mic în comparație cu volumul liber dintre elemente, având în vedere că la creșterea razei (grosimea fibrei), volumul liber decontaminat crește. Pentru a o reduce, există o idee care constă în următoarele. Printre fibrele groase (sau bile cu rază mare), putem introduce fibre subțiri sau bile cu rază mică.

Fibrele groase, intrând în contact optic cu fibrele subțiri, vor dispersa radiația ultravioletă în volumul încă infectat. Acesta va fi egal cu suma dintre aria fibrelor groase și aria fibrelor subțiri înmulțit cu adâncimea de penetrare a radiației UV-C. O situație similară a fost aplicată unui volum de decontaminare dintre sferele de cuarț cu o rază de aproximativ 1,5 mm, unde spațiul dintre sferele mari a fost umplut cu sfere cu diametru mai mic, astfel încât volumul total de dezinfecție devine egal cu suprafața totală a sferelor mari și mici înmulțit cu adâncimea de penetrare. În așa fel a crescut cu mult eficiența decontaminării [11, 12].

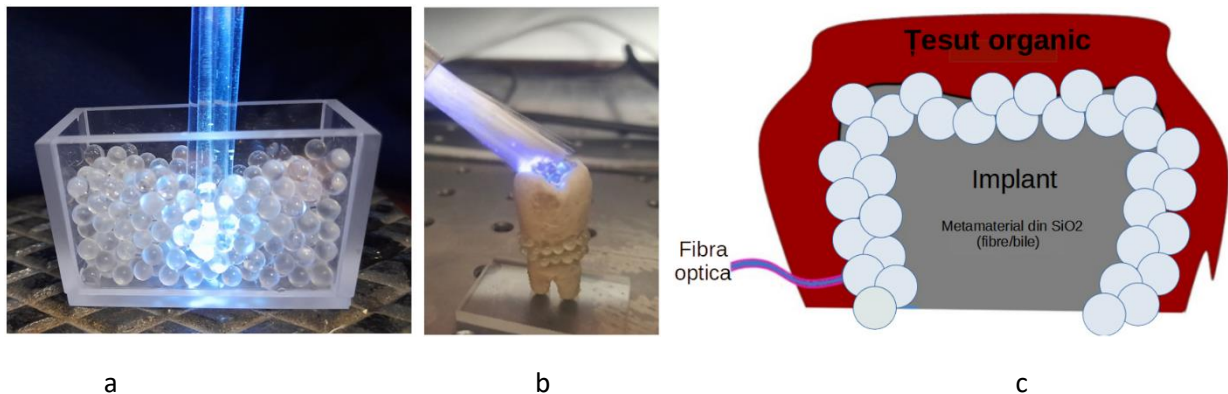
Aceste idei au fost dezvoltate pentru decontaminarea fluidelor care curg între elementele metamaterialelor și ulterior transferate pe modele de implant. Conform estimărilor noastre, suprafața totală este egală cu suprafața fiecărui element conținut în cilindru din figura de mai sus înmulțită cu numărul acestora. Volumul total de decontaminare a 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 ai fluidului. Această concepție despre volum și suprafața de dezinfecție poate ușor fi transferat la rețeaua de difuzie a implantului format din structura optică periodică descrisă mai sus. În cazul în care rețeaua de difuzie a implantului este formată din sfere în contact, atunci suprafața țesutului organic decontaminat va fi egală cu suprafața unei bile înmulțit cu numărul acestora de pe implant, iar volumul de decontaminare trebuie obținut prin înmulțirea suprafeței totale la adâncimea pătrunderii radiațiilor ultraviolete în țesutul celular infectat. Problema rezidă în adâncimea de penetrare a radiațiilor ultraviolete în interiorul fluidului sau țesutului organic. Dacă adâncimea de penetrare este proporțională cu dimensiunea virusului sau bacteriilor, atunci totul e bine și 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 împărțit la rădăcina pătrată pe lângă 1,55 (indicele de refracție pentru cuarț) la pătrat minus 1,41 (indicele de refracție al țesutului organic) la pătrat (formula de mai sus).

Pentru tratarea infecției de 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 metamateriale, cum ar fi structurile optice periodice din cuarț descrise mai sus. Acest fenomen de dispersie este prezentat în Figura 4.

Pe de o parte, acest fenomen de dispersie în metamateriale poate fi utilizat ca mediu de dispersie a radiațiilor UV-C (Figura 4a) pe suprafața destul de mare dintre implant și țesutul de adeziune, oferind efecte pozitive în tratamentul infecției, iar pe de altă parte, spațiile dintre elementele materialului (între microsfele sau fibre) pot avea efecte de bună aderență a țesutului la suprafața implantului.



**Fig. 4. Fenomenul de dispersie a radiațiilor UV-C: a) fibră-bile; b) set microfibre-bile asupra implantului dentar; c) Suprafața implantului acoperită de bile de cuarț în contact cu sursele externe**

Dezvoltând ideea din teoriile descrise în această lucrare, ar fi posibil ca implantul dentar să poată consta dintr-un set de fibre sau bile de cuarț pachet periodic în interiorul cavității implantului, așa cum este reprezentat în (Figura 4b). Un astfel de implant dentar poate fi utilizat cu succes în implantologie, iar pentru gestionarea dezinfectării lui, putem apela la laser UVC de mici dimensiuni pentru aplicarea unei doze de radiație UV-C în fiecare dimineață. Sistemul optic periodic este introdus în regiunea mică de adeziv, între implant și țesutul celular, așa cum este reprezentat în (Figura 4c).

Radiația acestui laser este ghidată în interior, în partea inferioară a implantului, prin care acesta vine în contact cu țesutul organic. Astfel este posibilă tratarea eficientă a suprafeței implantului în contact cu țesutul celular.

### **Rezultate și discuții**

Experimentele efectuate cu împachetări diferite ale metamaterialelor au demonstrat în mod concludent și convingător că atât sferile de cuarț, cât și cele din fibre, în comun cu radiațiile UV-C, pot inactiva eficient agenții patogeni prezenți în aer sau în diferite fluide, de exemplu bacteriile din drojdie și *Kombucha* [10-11], inclusiv *Escherichia coli* sau *Enterococcus* precum *Coliform*, Covid-19 etc.

Aplicând suprafața zonei evanescente ale unor astfel de structuri optice cvasi-periodice, eficiența decontaminării crește drastic. Sistemul optic periodic propus atestă o îmbunătățire a contactului de adeziune dintre implant și țesutul celular. Între elementele structurilor periodice apare o nouă perspectivă asupra procedurilor de decontaminare. 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.

Legat de procedura de reambalare a metamaterialelor propuse, reproducerea miezului din dispozitivul de decontaminare constă în aceste materiale. Luând în considerare metodele de reambalare a metamaterialelor cu diametrele cunoscute atât sferelor mari, cât și mici, putem obține o structură compactă foarte bună, asemănătoare celei solide. Cu siguranță, unele defecte în procedura de reambalare pot persista, chiar și cunoscutul factor uman, dar aici nu se observă o diferență semnificativă în eficiența decontaminării patogenilor. S-au propus două structuri topologice ale metamaterialelor din bile și fibre, pentru a crește suprafața de contact a radiațiilor UV ale implantului dentar cu materia.

### **Concluzii**

A fost studiat aspectul interacțiunii radiațiilor UV-C cu aplicarea dezinfectării pe suprafețele implanturilor și stimularea posibilă a contactului implantului cu țesutul celular. În urma investigațiilor experimentale efectuate, s-a propus o nouă metodă de împachetare a bilelor și fibrelor din cuarț. Folosind aceste împachetări ale metamaterialelor (cristale fotonice/fibre de cristal fotonice) în implantologie, avem posibilitatea de a manipula radiația UV-C în zona afectată a sistemului neuronal, iar datorită spațiilor dintre bile/fibre se formează o aderență mult mai bună a legăturii implant-țesut. Îmbunătățirea contactului suprafeței UV-C cu fluidul contaminat depinde de mai mulți parametri, precum indicele de refracție al metamaterialului, al fluidului și, de asemenea, de proprietățile optice ale virușilor și bacteriilor.

*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 coordonatorului, conf. univ., dr. Ciobanu Nelu, Țurcan Marina, cât și conducătorului științific, prof., dr. hab. Nicolae A. Enaki, pentru implicare, susținere și îndrumare.*

### **Bibliografie:**

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. In: *Analytical chemistry*. 2017, 89 (8), 4502-4507 [online]. Disponibil: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b04699>.
3. ENAKI, N., TURCAN, M., PASLARI, T., NISTREANU, A., BAZGAN, S., RISTOSCU, C., MIHAILESCU, I. Efectele optoelectronice în modernizarea implanturilor avansate folosind structura optică periodică. In: *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. ENAKI, N. 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.
5. STOLIK, S., DELGADO, J.A., PÉREZ, A., ANASAGASTI, L. Măsurarea adâncimii de penetrare a luminii roșii și aproape de infraroșu în țesuturile umane „ex vivo”. In: *J Photochem Photobiol B*. 2000, sept., 57(2-3):90-3 [online]. PMID: 11154088. Disponibil: [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(00\)00082-8](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(00)00082-8).
6. TSEN, S.W.D., WU, T.C., KIANG, J.G. et al. Perspective pentru o nouă tehnologie cu laser cu impulsuri ultrascurte pentru inactivarea agenților patogeni. In: *J Biomed Sci*. 2012, 19, 62 [online]. Disponibil: <https://doi.org/10.1186/1423-0127-19-62>.
7. KOWALSKI, W. *UVGI disinfection Theory, Ultraviolet germicidal irradiation handbook*. Springer, 2009, pp. 17-50.
8. MATVEEV, M., EROFEEV, A., TEREKHIN, S., PLOTNIKOVA, P., VOROBYOV, K., VLASOVA, O. Implantable devices for optogenetic studies and stimulation of excitable tissue. In: *St. Petersburg Polytechnical University Journal: Physics and Mathematics* 1, 2015.
9. RASTOGI, R.P., RICHA KUMAR, A., TYAGI, M.B., SINHA, R.P. Mecanismele moleculare ale deteriorării și reparației ADN-ului induse de radiațiile ultraviolete. In: *J Acizi nucleici*. 2010, dec., 16:592980 [online]. Disponibil: <https://doi.org/10.4061/2010/592980>.
10. MILLER, R.L. Plagemann PG. Efectul luminii ultraviolete asupra mengovirusului: formarea de dimeri de uracil, instabilitatea și degradarea capsidului și legarea covalentă a proteinei la ARN viral. In: *J Virol*. 1974, mar., 13(3):729-39 [online]. Disponibil: <https://doi.org/10.1128/jvi.13.3.729-739>.
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) [online]. Disponibil: <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-03252-y>.