

CZU: 535.37:616.314-089

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_13](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_13)

MECANISM DE INACTIVARE A AGENȚILOR PATOGENI CU APLICARE ÎN IMPLANTOLOGIE

Ion MUNTEANU,*Universitatea de stat din Moldova*

În prezent, o atenție deosebită se acordă utilizării pe scara largă a tratamentelor cu implant. Implanturile moderne au o rată bună a succesului, fiabilității și longevității, sunt minim-invazive, delicate și rezistente. Datorită dezvoltării unor forme de patogeni la contactul implant-țesut există situații de slabă aderență a suprafeței implantului la țesutul organic. Aplicarea metodelor chimice sau chirurgicale în astfel de situații sunt dificile, dar pentru a putea soluționa aceste fenomene sunt necesare tehnici noi de implementat. De aceea se propune aplicarea radiațiilor ultraviolete asupra sistemului optic (cristale fotonice și fibra de cristal fonic) din implanturile moderne pentru a trata infecția ce poate apărea la suprafața dintre implant și țesutul celular în procesul de slabă aderență. Aceste combinații de structuri optice periodice din cuarț sunt depuse și aranjate în mod regulat (setul de fibre sau sfere) pe suprafața implantului, ce pot fi utilizate ca un volum mare de dispersie a radiației ultraviolete C pentru tratarea infecției la suprafața dintre implant și țesutul de adeziune. Structura optică periodică propusă contribuie considerabil la creșterea aderenței implantului la țesutul celular, astfel stimulând creșterea celulară între elemente și implant.

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

PATHOGEN INACTIVATION MECHANISM WITH APPLICATION IN IMPLANTOLOGY

At the present time, a special attention is given to the large-scale using of implant treatments. Modern implants have a good rate of success, reliability and longevity, they are minimally invasive, delicate and resistant. Due to the development of some forms of pathogens at the implant-tissue contact, there are situations of poor adhesion of the implant surface to the organic tissue. The application of chemical or surgical methods in such situations are difficult. But in order to solve these phenomena, new techniques are needed to be implemented. That why it is proposed to apply ultraviolet radiation on the optical system (photonic crystals and photonic fiber crystals) of modern implants to treat the infection that can appear on the surface between the implant and the cellular tissue in the process of poor adhesion. These combinations of periodic quartz optical structures are deposited and regularly arranged (set of fibers or spheres) on the implant surface, which can be used as a large volume dispersion of ultraviolet C radiation to treat the infection at the surface between the implant and adhesion tissue. The proposed periodic optical structure contributes considerably to increasing the adhesion of the implant to the cellular tissue, thus stimulating cellular growth between the elements and the implant.

Keywords: *implant, decontamination, UV-C radiation, pathogen inactivation, metamaterials.*

Introducere

Dezvoltarea de noi idei și metode aplicate în implantologie efectuate în ultima perioadă de timp, duce la creșterea semnificativă a popularității tratamentelor cu implant. În același timp se deschid noi posibilități pentru cercetarea inovatoare în acest domeniu. Numeroase studii au fost efectuate în acest sens pentru a găsi noi metode eficiente de decontaminare a suprafeței dintre implant și țesutul celular în procesul de slabă aderență, cu scopul protecției suprafeței în urma apariției agenților patogeni [1-3]. 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.

Se cunosc diferite posibilități de inactivare a agenților patogeni apăruiți la suprafața de slabă aderență a implantului cu țesutul celular. 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 de tip C) cu țesutul uman de pe suprafețele implantului. Iradierea cu radiații ultraviolete este o metodă cunoscută și folosită încă din 1877, când Downes și Blunt au

observat că măbind timpul de expunere al eprubetelor care conțin soluție Pasteur la lumina solară, eprubetele au rămas libere de bacterii timp de câteva luni [4]. Pornind de la aceste observații, interacțiunea dintre radiație și materie a fost studiată și testată pe larg pe parcursul timpului. Odată ce aceste radiații au energii diferite, respectiv și interacțiunea lor cu materia este diferită. Dacă materia o privim ca pe o substanță care are masă și ocupă spațiu având volum și totodată ea este compusă din atomi unde totalitatea atomilor alcătuiesc moleculele, atunci interacțiunea radiațiilor cu materia este una foarte diversă. La energii mari ale radiației, adâncimea de penetrare în materie este mult mai mare în comparație cu radiațiile care au energiile mici.

Radiațiile ultraviolete s-au dovedit a fi cele mai eficiente în acest scop, iar în prezent sunt utilizate pe scară largă pentru inactivarea agenților patogeni virali. Dezinfecția cu ajutorul radiațiilor UV-C este foarte eficientă la lungimi de undă de 200-300 nm. Există mai multe studii în acest sens care confirmă acțiunea radiațiilor ultraviolete de tip C, ca fiind una foarte eficientă în nimicirea virusilor și bacteriilor [5]. Anume acest interval al radiației este considerat germicid, deoarece este absorbit de ADN-ul patogenilor care ulterior îi distruge structura moleculară prin formarea dimerilor de timina T=T, astfel încât patogenii nu mai au posibilitatea de a se replica sau înmulți. În acest caz metodele tradiționale precum dezinfecția chimică nu mai este necesară, odată ce radiația UV-C inactivează efectiv virusii, bacteriile, ciupercile și sporii. Totodată, dezinfecția bazată pe radiații UV este o metodă fiabilă și prietenoasă cu mediul, la intensități de iradiere suficient de mari nu mai este nevoie de substanțe chimice suplimentare [6-7], iar microorganismele precum virusii, bacteriile, drojdiile și ciupercile devin inofensive în câteva secunde urmând acestei iradierii.

Aceste aspecte ale decontaminării eficiente cu radiații ultraviolete (UV-C) deschid noi perspective în construcția de noi implanturi cu sensibilitate ridicată în decontaminarea microorganismelor ce pot apărea în procesul de slabă aderență. Pentru a trata infecțiile de suprafață în regiunea dintre implant și țesutul celular, este propus un nou sistem optic. Pentru a îmbunătăți suprafața de contact dintre agenți patogeni și radiația UVC, am folosit o combinație de elemente metamateriale, cum ar fi sfere și fibre întregi sau zdrobite din cuarț, în aranjamente de ambalare strânsă. Se demonstrează că suprafața totală a metamaterialelor pe implant în contact optic cu suprafața zonei contaminate a țesutului celular este semnificativ crescută.

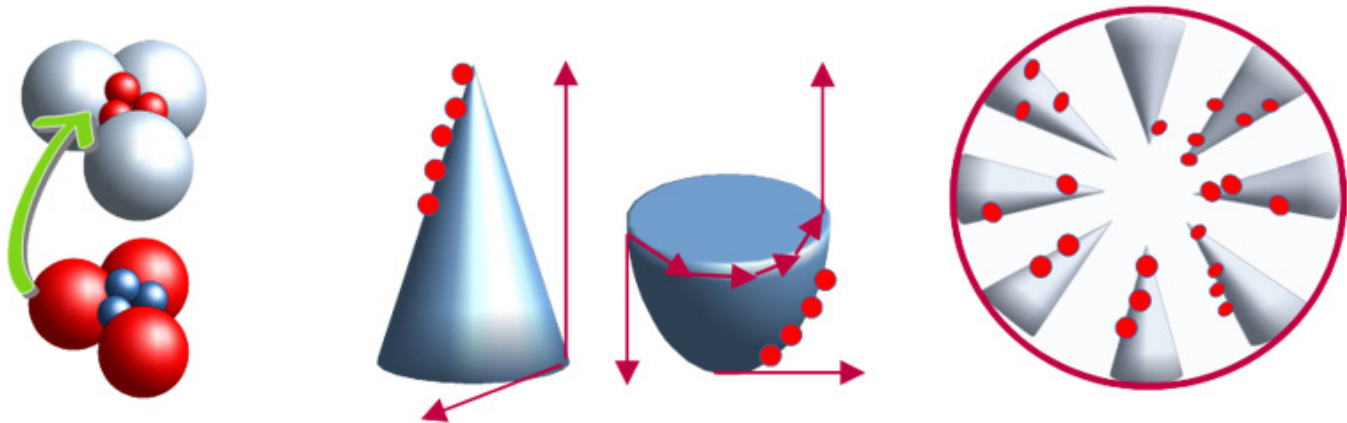
Probele de metamaterial super-ambalate au fost supuse iradierii UV-C, pentru a îmbunătăți formarea de antibiofilm cu avantaje așteptate pentru sterilizarea pe termen lung a implanturilor și prevenirea infecțiilor nosocomiale pe arii clinice mari. Ori de câte ori se ajunge la un contact bun între elementele metamateriale (sfere, fibre optice și/sau elemente zdrobite), lumina este „limitată” și dispersată prin unde evanescente într-un volum extins. Acest lucru permite ca radiația ultravioletă să poată fi ușor manipulată prin metamaterialele, astfel încât o doză mai mare de radiație să fie dispersată pe suprafața infectată.

Este cunoscut că radiațiile UV-C au un impact negativ asupra sănătății omului. Metoda propusă în aceasta lucrare este una non-invazivă, deoarece odată ce este posibilă dirijarea și canalizarea radiației strict în zona de interes, nu poate afecta cu nimic alte părți ale corpului decât suprafața afectată dintre implant și țesutul celular. În astfel de situație radiația UV-C este expusă direct patogenilor.

Materiale și metode

Radiația UV-C a fost utilizată în mod convențional în sisteme de purificare a aerului și de tratare a apei și a unor maladii de gripă, [8]. A venit momentul ca această radiație sub formă să fie canalizată prin sisteme optice speciale precum structurile optice periodice. Se propun modalități de cooperativitate dintre biomolecule atât la emisia cuantelor de lumină, cât și la absorbția ei. Aceste modalități de cooperare dintre radiatori sunt exportate la efectele de cooperare dintre fotonii modurilor de cavitate sau modurilor fibrelor optice la propagarea pulsurilor de lumină prin ele. La conversia luminii din modul de pompă în modurile Stokes și anti-Stokes se utilizează atât atomi, cât și molecule ori biomolecule plasate în câmpul de evanescență al sistemelor optice formate din cavități cuplate, la contact cu fibre optice cuplate ori alt tip de elemente 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 sunt numite în literatură *cristale fotonice* (vezi Fig. 1).

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



În figura 1a, spațiul dintre sferele cu dimensiuni reduse cu diametrul d_1 este suplinat cu sfere cu dimensiuni de zece de ori mai mici $d_1/10$. Această împachetare continuă după reducerea dimensiunilor elementelor metamaterialului cu alte sfere cu dimensiuni de 100 ori mai mici decât cele inițiale $d_1/10$. Procedura ar putea continua pentru a ajunge la scară nanometrică a tubulinelor. 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 Fig. 1b), iar în Fig. 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 sanguină 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 în jur de 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 253.4 nm, ilustrat în (Fig. 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 (lichide ori gaze) pot ușor penetra spațiul dintre ele la scurgere. O atenție deosebită vom da suprafețelor de contact al fluidului cu aceste structuri, numite în literatură și metamateriale. Meta-materialele sunt definite ca fiind acele compozite cu proprietăți care nu se găsesc în natură. În cercetarea electromagnetică, există un mare interes în dezvoltarea compozitelor care prezintă valori precise ale permitivității electrice (ϵ) și permeabilității magnetice (μ), deoarece acestea dictează mișcarea radiației electromagnetice în și în jurul materialului. Metamaterialele precum cristalele fotonice sunt materiale macro-poroase cu proprietăți interesante, în special proprietăți optice. S-a decis să folosim aceste sisteme optice în îmbunătățirea aderenței și tratarea eventualelor infecții de suprafață. De asemenea, putem menționa că fibrele „band gap” cu miezuri goale pot ocoli

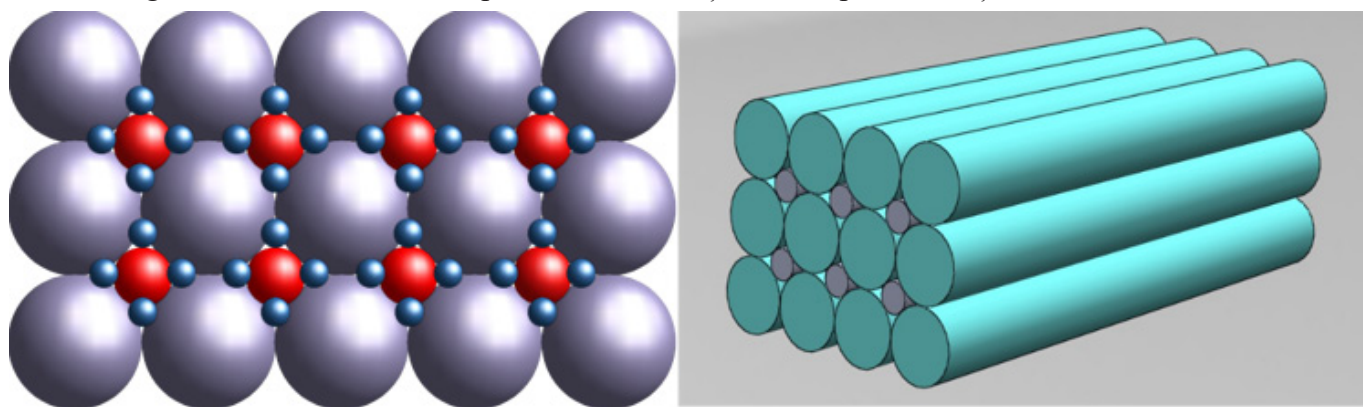
limitele impuse de materialele disponibile, de exemplu, pentru a crea fibre care ghidează lumina la lungimi de undă pentru care nu sunt disponibile materiale transparente (deoarece lumina este în primul rând în aer, nu în materiale solide).

Pentru a câștiga în suprafața de contact cu structurile cvasi-periodice se propune de a umple spațiul liber dintre elementele structurii (la împachetarea cubică sau hexagonală) cu introducerea suplimentară a unor elemente mai mici comensurabile cu spațiul dintre bile sau fibre (vezi Fig. 3). Această reîmpachetare a structurii cvasi-periodice cu noi elemente are două aspecte utile la decontaminare sau diagnostică sub acțiunea luminii cu moleculele, biomoleculele situate în spațiul liber dintre elementele cvasi-periodice. Prima este strâns legată de suprafața totală de contact dintre fluid și radiația ce penetrează în zona câmpului apropiat, iar a doua de reducere a spațiului liber nepenetrat de câmpul de evanescență și substituirea lui cu o nouă sursă de împrăștiere a luminii la propagarea ei.

Aceasta 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 si 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, 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.

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

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 înmulțite cu adâncimea de penetrare a radiației UV-C. O situație similară a fost aplicată la un volum de decontaminare dintre sferile 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].

Toate 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 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 dezinfectie poate ușor fi transferată la rețeaua de difuzie a implantului format din structura optică periodică descrisă mai sus. În cazul când rețeaua de difuzie a implantului este formată din sfere în contact, atunci suprafața țesutului organic decontaminat va fi egală cu suprafața unei bile înmulțite 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 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, 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 împărțită la rădăcina pătrată din pe lînga (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.

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



Pe de o parte, acest fenomen de dispersie în metamateriale poate fi utilizat ca mediu de dispersie a radiațiilor UV-C (Fig.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.

În ideea acestor teorii descrise în această lucrare ar fi posibil ca implantul dentar să poată consta dintr-un set de fibre sau bule de cuarț pachet periodic în interiorul cavității implantului, așa cum este reprezentat în (Fig.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 (Fig.4c). Radiația acestui laser este ghidată în interior, în partea inferioară a implantului, pe care acesta vine în contact cu țesutul organic. În așa fel, 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 drojdie și Kombucha [10-11], inclusiv *Escherichia coli*, sau *Enterococcus* precum Coliform, covid-19 etc.

Metoda de decontaminare propusă va fi dezvoltată în baza a două efecte observate în optica modernă a metamaterialelor: unul este legat de creșterea substanțială a zonei de contact a virușilor și bacteriilor cu câmpul de radiație în apropiere de suprafața metamaterialului, și al doilea efect este legat de posibilitatea de atragere a acestor agenți patogenici în zona de decontaminare din zona apropiată suprafeței de contact a elementelor din care este construit meta materialul. Ultimul efect depinde de gradientul mărit al câmpului apropiat, indicele de refracție, densitatea agentului patogen.

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 meta-materialelor propuse, reproducerea miezului din dispozitivul de decontaminare constă din 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 acel factor uman, dar aici nu se observă o diferență semnificativă în eficiența decontaminării patogenilor. S-au propus două structuri topologice ale meta-materialelor 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 impachetări 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 duce la 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, cât și al fluidului, și de asemenea de proprietățile optice ale virușilor și bacteriilor.

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., Nisteanu, 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. 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.
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”*. *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)
6. 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>

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*, St. Petersburg Polytechnical University Journal: *Physics and Mathematics* 1, 2015.
9. Rastogi, RP, Richa, Kumar A., Tyagi, M.B., Sinh, R. P. *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>
10. Miller, R. L., Plagemann, P. G. *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>
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>

Notă: Această lucrare a fost susținută de proiectele: Subprogram cod 011206 IFA, USM. Aducem sincere mulțumiri îndrumătorului conferențiar universitar, dr. Nelly Ciobanu, dr. Marina Țurcan, cât și conducătorului științific, prof., dr.hab. Nicolae A. Enaki pentru implicare, susținere și îndrumare.

Date despre autor:

Ion MUNTEANU, doctorant, cercetător științific în componența laboratorului „Optică Cuantică și Procese Cinetice”, Institutul de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-5685-8888

E-mail: ion.munteanu@usm.md

Prezentat la 23.02.2024