

**INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF BIOLOGICALLY  
COMPATIBLE IMPLANT MATERIALS AND PRODUCTS  
CREATION****IMPLANTU BIO - SADERĪGU MATERIĀLU UN  
IZSTRĀDĀJUMU IZVEIDES JAUNĀS TEHNOLOĢIJAS**

**Alexander Urbach**, *RTU prof., Dr.Hab.Sc.ing.*

*Riga Technical University, Institute of Transport Vehicles Technologies*

*Address: Kalku street 1, Riga LV-1658, Latvia*

*E-mail: [Aleksandrs.Urbahs@rtu.lv](mailto:Aleksandrs.Urbahs@rtu.lv)*

**Konstantin Savkov**, *researcher, Mag.Sc.ing.*

*Riga Technical University, Institute of Transport Vehicles Technologies*

*Address: Kalku street 1, Riga LV-1658, Latvia*

*E-mail: [Konstantins.Savkovs@rtu.lv](mailto:Konstantins.Savkovs@rtu.lv)*

**Margarita Urbach**, *researcher, Mag.Sc.ing.*

*Riga Technical University, Institute of Transport Vehicles Technologies*

*Address: Kalku street 1, Riga LV-1658, Latvia*

*E-mail: [Margarita.Urbaha@rtu.lv](mailto:Margarita.Urbaha@rtu.lv)*

**Yury Martinov**, *RTU prof., Dr.Hab.Sc.ing.*

*Riga Technical University, Institute of Transport Vehicles Technologies*

*Address: Kalku street 1, Riga LV-1658, Latvia*

*E-mail: [Juris.Martinovs@rtu.lv](mailto:Juris.Martinovs@rtu.lv)*

*Atslēgas vārdi: nanotehnoloģijas, bio-saderīgie materiāli, implanti*

## 1. Pētījumu aktualitāte

Viens no visefektīvākajiem balstkustības aparāta traumatisku bojājumu ārstēšanas paņēmieniem ir osteosintēze, kas tiek veikta ar implantu palīdzību, kas sastiprina bojātās vietas. Implanti tiek plaši pielietoti ķirurģijā, traumatoloģijā un ortopēdijā, stomatoloģijā, asinsvadu posmu aizvietošanā, biotehnoloģijās u.tml.

Īpašu kategoriju veido implantri, kas ir pakļauti slodzei – ortopēdiskās un stomatoloģiskās protēzes, zobu vainadziņi, implantri, kurus izmanto žokļu-sejas ķirurģijā, mākslīgie locekļu savienojumi, fiksatori u.c.

Galvenās prasības implantu materiāliem un pārklājumiem ir to biosaderība, bioaktivitāte, izcila korozijas izturība, augsta noguruma un pārraušanas izturība, zems elastības modulis un berzes koeficients, augsta nodilumizturība.

Galvenā problēma šinī jomā ir adekvātas biomehānikas nodrošināšana kaula un implanta savienošanas robežās, kas ļautu minimizēt ietekmi uz bioloģiskiem procesiem bojājuma vietā.

Šis darbs ir pirmais solis implantu biosaderīgu pārklājumu radīšanas jaunu tehnoloģiju izstrādē. Lai paātrinātu implantu adoptāciju cilvēka ķermenī un palielinātu to kalpošanas laiku, ir nepieciešams izveidot pārklājumu ar specifiskām ķīmiskām, mehāniskām, triboloģiskām un bioloģiskām īpašībām.

## 2. Galveno implantu radīšanas tehnoloģiju, materiālu un pārklājumu raksturojums

### • Cirkonija izmantošana biosaderīgu implantu pārklājumu izgatavošanā

Liela daļa spieķu, plākšņu, vītņu un cita veida implantri mūsdienās tiek izgatavoti no austenītiem tēraudiem: hromniķeļa 12X18H9T un hromniķeļmolibdēna O3X17H14M3 (316L). Tie ir pietiekami izturīgi un diezgan lēti salīdzinājumā ar medicīniskajiem titāna BT6C vai cirkonija H-1, H-2,5 sakausējumiem, kā arī no speciāliem medicīniskajiem sakausējumiem "Komochrom", "Vitalinum"-HS21, "Vironium" u.c. uz kobalta-hroma pamata, niobiju un tantālu.

Taču diemžēl atšķirībā no visiem iepriekšminētajiem sakausējumiem osteosintēzē plašā pielietošā pieejamajiem nerūsējošajiem tēraudiem nepiemīt nepieciešamais bioinertuma līmenis. Atbilstoši oficiālai statistikai, izmantojot spieķus osteosintēzei no valcēta nerūsējošā tērauda 12X18H9T, 7,8% slimniekiem rodas iekaisums tieši nepietiekama spieķu materiāla bioinertuma dēļ. Tas ir saistīts ar augstu niķeļa saturu.

Šī problēma var tikt risināta, pārklājot implantu no medicīniskā nerūsējošā tērauda ar biosaderīgiem vakuuma-loka jonu plazmas pārklājumiem cirkonija un tā savienojumu – nitrīdu un karbonitrīdu pamatā (1. att.).

Piedāvājamā tehnoloģija nodrošina pārklājumu struktūras stabilitāti un detaļu ekspluatācijas īpašību uzlabošanu (bioinertums, cietība, nodilumizturība, adhēzijas stiprība, sasaistot pārklājumu ar pamatni).



1. att. Implants ar biosaderīgiem jonu-plazmas pārklājumiem cirkonija un tā savienojumu pamatā

- **Biosaderīgi titāna pārklājumi implantiem**

Implantu radīšanas tehnoloģijās liela praktiska nozīme ir titāna pārklājumiem (2. att.). Tiem piemīt bioinduktīvas un biokonduktīvas īpašības, kuras veicina osteosintēzi, kontaktējot ar kaula audiem un kaula audu ģenerāciju uz savas virsmas ar ķermeņa šķidruma stobra veida šūnu palīdzību.



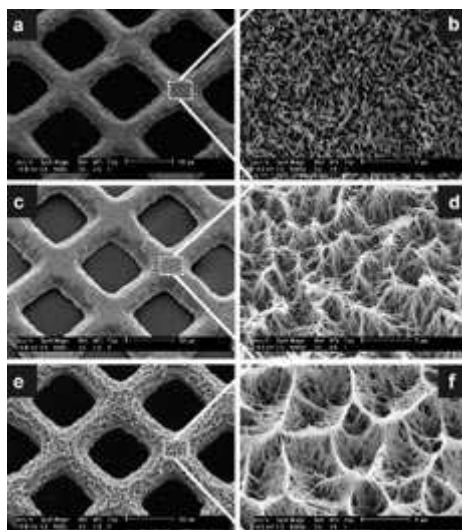
2. att. Biosaderīgie titāna pārklājumi implantiem

Taču, izmantojot titāna implantus bojāto kaulu aizvietošanas gadījumā, muskuļa audi nevar labi nostiprināties uz gludas virsmas, kas var veicināt nepieciešamību nomainīt protēzi un sekojoši – atkārtotu ķirurģisku iejaukšanos.

Biopārklājumi titāna pamatā tiek uzputināti ar elektroķīmisku paņēmienu.

- **Nanostiepļu pārklājumi implantiem**

Implantu titāna dioksīda nanostiepļu pārklājumi (3. att.), kontaktējot ar kaula audiem, ļauj intensificēt osteosintēzes procesu. Ar reakcijas temperatūras un NaOH koncentrācijas izmaiņām var viegli kontrolēt karkasa struktūru – nanostiepļu garumu, porainību u.tml.

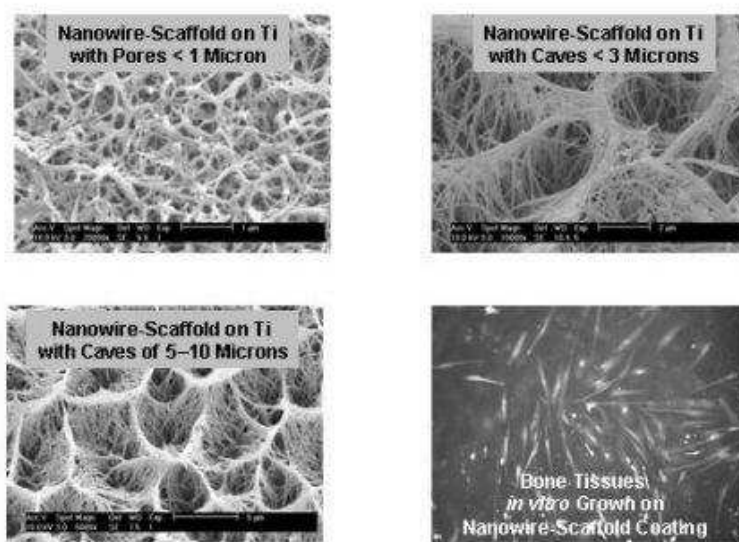


3. att. Titāna tīklu virsmas struktūra atkarībā no NaOH šķīduma koncentrācijas [1]

Izgatavojot pārklājumu, tīra titāna pamatne tiek apstrādāta ar nātrija hidroksīda šķīdumu pie temperatūras 160-250°C, apstrāde ilgst 2-10 stundas. Tā rezultātā rodas makroporaini karkasi no TiO<sub>2</sub> nanostieplēm, kas pilnībā pārklāj pamatni [1].

- **Nanodiegu pielietošana implantu pārklājumos**

Tā kā lielākā implantu daļa tiek izgatavota no titāna, nanodiegi, kas paši par sevi ir keramikas un titāna oksīda kompozīts nanomateriāls, labi der kā pārklājums (4. att.).



4. att. Nanopārklājumu piemēri ar dažādu bioloģisku saderību ar muskuļa audiem [2]

Šāda pārklājumu veida uzputināšanas procesā var izmainīt nanodiegu garumu, to diametru, kā arī poru blīvumu pārklājuma sastāvā.

- **Biosaderīgie nodilumizturīgie nanostrukturēti plānas plēves pārklājumi**

Nanostrukturētus plānas plēves pārklājumus veido uz titāna karbonitrīda pamata, pievienojot papildus elementus Ca, Zr, Si, K, Mn, O, P.

Daudzkomponentiem nanostrukturētiem pārklājumiem sistēmā Ti-(Ca,Zr)-(C,N,O,P) piemīt vairāku implantiem nepieciešamo īpašību kombinācija:

- augsta cietība, nodilumizturība un adhēzijas stiprība;
- pazemināts elastības modulis;
- zems berzes koeficients;
- augsta bioaktivitāte un biosaderība;
- paātrināta mākslīgo implantu adaptācija pie dzīvajiem audiem (hidroksilapāta adhēzijas slāņa rašanās uz implanta virsmas un tā integrācija ar kaula audiem 30-45 dienu laikā pēc implantācijas).

Pārklājumus (Ti,Ta)-(Si,Ca,Zr,Mn)-(C,N,O,P) sistēmas pamatā var uzputināt ar magnetronās smidzināšanas palīdzību (MS). Ir iespējams veidot pārklājumus ar MS, izmantojot arī metāla kompozītu  $TiC_{0,5}$ ,  $TiC_{0,5}+TaC$  un  $TiC_{0,5}+Ti_5Si_3$  mērķus ar dažādām neorganiskām piedevām  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Ca_3(PO_3)_2$ ,  $HAP(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2)$ ,  $KMnO_4$ .

#### • Monokristālais ūdeņraža pārklājums

Šajā gadījumā uz implanta virsmas tiek radīts pašorganizējošais monokristālais pārklājums ar augstu biosaderību un struktūras vadāmību, ko var adoptēt pie olbaltumvielas struktūras dzīva organisma vidē. Monokristālais ūdeņraža pārklājums strukturē brūces audus tiem augot sadzīšanas procesā un atvieglo enerģētisko barošanu un skābekļa piekļuvi savainotiem brūces posmiem. Šis efekts ir pamatojams ar to, ka monokristālie pārklājumi satur aktīvus centrus, kuri sakārto olbaltumvielu molekulas, tādējādi nodrošinot augošo audu barošanu. Pārklājums vakuumā tiek uzputināts uz dažādām implantu virsmām, ķirurģiskiem pārsējiem (saitēm), kuri cieši pieguļ pie bojātā posma un, audu reģenerācijas procesā, strukturē to augšanu.

#### • Nanostrukturētie pārklājumi hidroksiapatīta pamatā

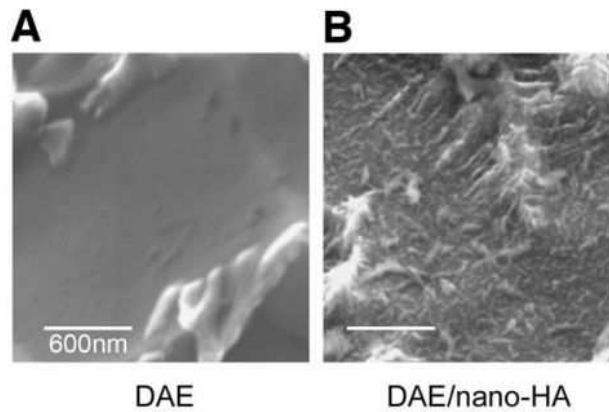
Būtisks ir neorganisko kaulu audu sastāvdaļu – hidroksiapatīta (HA) izmantošanas iespēju pētījums iekšējai implantācijai.

Šiem materiāliem piemīt ne tikai izcila biosaderība, bet arī spēja viegli šķīdināties kaulu audos, aktīvi stimulējot kaula veidošanos.

Aizstājot defektu, implants ar HA veida pārklājumu ar laiku iedzīvojas kaula audos, izveidojot izturīgu biomehānisku savienojumu. Svarīgi arī piebilst, ka kaula audiem ir poras un dinamiskos apstākļos (deformācijas apstākļos) poru apjomi mainās. Aizstājot zobu rindas defektu ar implantu, uz tā virsmas formējas kaula-implanta sistēma, kurai pēc izeaugšanas kaula vielas implanta porās ir jāsauglabā augstas plastiskuma un izturības īpašība.

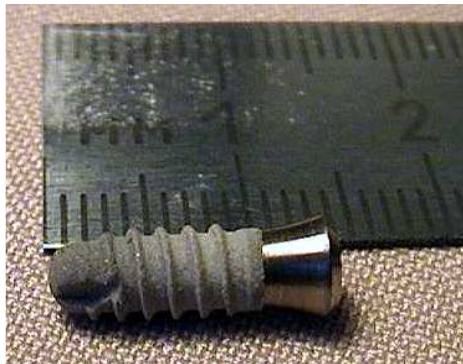
Veidojot šāda veida pārklājumus, galvenā kaula audu minerālā sastāvdaļa HA nanokristālu veidā tiek uzputināta uz titāna implantiem, ar to nodrošinot koloidālu nanokristālu pašsalikšanas efektu.

5. att. ir parādīti HA nanostrukturēta pārklājuma fragmenti, kas tika iegūti, nogulsējot nanokristālus uz kaula titāna implanta virsmas, sagatavotu ar divskābju kodināšanu (DAE), lai radītu labvēlīgu mikrotopogrāfiju.



5. att. Implanti ar nanostrukturētu virsmu: A – parasts titāna implants;  
B - implants, pārklāts ar hidroksiapatīta nanokristāliem [3]

6. att. ir parādīts zobu kaula iekšējais implants ar HA pārklājumu, kas satur līdz 96 % kristāliskā hidroksiapatīta.



6. att. Zobu kaula iekšējais titāna implants ar hidroksiapatīta pārklājumu

### 3. Nobeigums

Darba autori ir noteikuši galvenos tālāko pētījumu virzienus ar mērķi izstrādāt bioaktīvus nanostrukturētus pārklājumus un jaunās paaudzes izstrādājumus, lai uzlabotu bioimplantu kvalitāti un saderīgumu ar kaula audiem.

Galvenie pētījumu uzdevumi ir:

- tehnoloģijas izstrāde, ar kuru iespējams iegūt HA nanodaļiņas ar regulējamu izmēru no 10 līdz 100 nm, kā arī ar regulējamu bioaktivitāti, HA struktūrā ievadot dažādus mikroelementus;
- tehnoloģijas izstrāde, ar kuru iespējams uzputināt HA nanodaļiņas pārklājuma veidā uz metāliskajiem jebkuras ģeometriskās formas implantiem ar biomedicīniskajiem parametriem, regulējamus mikro- un nanodiapazonā;
- apjomīgu porainu nanostrukturētu implantu no HA nanodaļiņām izgatavošanas tehnoloģijas izstrāde;
- eksperimentālu un rūpniecisku izstrādājumu paraugu radīšana;

- paraugu licenzēšana un sertificēšana atbilstoši ES direktīvas 93/42/EC pielikuma II.3 medicīnisko izstrādājumu nodaļas prasībām, kā arī EN ISO 13485:2000 un EN ISO 9001:1994;
- ar dažādiem nogulsnešanas parametriem iegūto pārklājumu struktūras pētīšana (ar rentgena difraktometrijas, caurstarojošas un skenētjošas elektrona mikroskopijas, otreizējas jonu masu spektroskopijas, Ože – elektronu spektroskopijas, skenētjošas spēka mikroskopijas, rentgena fotoelektronu spektroskopijas u.c. metodēm);
- pārklājumu īpašību novērtēšana (adhēzija, cietība, elastības modulis, elastības atjaunošanās, berzes koeficients un nodilumizturības ilgums gan gaisā, gan fizioloģiskā šķīdumā, raupjums un korozijas izturība);
- pārklājumu biosaderības novērtējums;
- daudzkomponentu titāna pamata pārklājumu baktericīda aktivitātes pētījumi.

## Literatūra

1. Dong, W., Zhang, T., Epstein, J., Cooney, L., Wang, H., Li, Y., Jiang, Y.-B., Cogbill, A., Varadan, V., and Tian, Z.R. Multifunctional Nanowire Bioscaffolds on Titanium, *Chem. Mater.*, 19, 18, 4454 - 4459, 2007.
2. Dong, W., Zhang, T., Epstein, J., Cooney, L., Wang, H., Li, Y., Jiang, Y.-B., Cogbill, A., Varadan, V., and Tian, Z.R. Nanowire Coating for Bone Implants, Stents. University of Arkansas, *ScienceDaily*, Fayetteville, 2007.
3. Ichiro Nishimura. A new design of implant surface, 2007 *Nanotechnology* 18, Nanotechnology research highlights , IOP Publishing, 9.lpp., Bristol, 2007.

### **Aleksandrs Urbahs, Konstantīns Savkovs, Margarita Urbaha, Jurijs Martinovs. Implantu bio - saderīgu materiālu un izstrādājumu izveides jaunās tehnoloģijas**

*Darbā ir veikta detalizēta pētījumu galveno rezultātu analīze, kas saistīta ar jaunu tehnoloģiju izstrādi, radot biosaderīgus implantu pārklājumus, kuriem piemīt specifiskas ķīmiskās, mehāniskās, triboloģiskās un bioloģiskās īpašības, lai paātrinātu to adaptāciju cilvēka ķermenī un ievērojami palielinātu to kalpošanas laiku. Par turpmāko pētījumu galveno mērķi ir noteikta bioaktīvu nanostrukturētu pārklājumu un jaunās paaudzes izstrādājumu izstrāde, lai uzlabotu ar kaula audiem saderīgu bioimplantu kvalitāti.*

*Ir noteikti galvenie pētījumu uzdevumi, kas sevī ietver jaunu tehnoloģiju izstrādi nanostrukturētu pārklājumu radīšanai, kas satur dažādus mikroelementus; eksperimentālu un rūpniecisku izstrādājumu paraugu radīšanu; pārklājumu dažādu īpašību novērtēšanu, tajā skaitā to biosaderības un baktericīda aktivitāti.*

### **Alexander Urbach, Konstantin Savkov, Margarita Urbach, Yury Martinov. Innovative technologies of biologically compatible implant materials and products creation**

*The work contains a detailed basic results analysis of the research into the development of new technologies for biologically compatible implant coatings creation, which possess specific chemical, mechanical, tribological, and biological characteristics. The research aims to accelerate the adaptation of implants in human body and considerably prolong their service life.*

*The development of bioactive nanostructural coatings and new generation products for the increase of bone-tissue compatible bioimplants quality is defined as a basic aim of further research.*

*There are defined the basic objectives of the research, which include the development of new technologies for the creation of nanostructured coatings containing different microelements; the creation of products prototypes and industrial design; the evaluation of different characteristics of the coatings including their biocompatibility and bactericidal activity.*

***Александр Урбах, Константин Савков, Маргарита Урбах, Юрий Мартынов. Новые технологии создания биосовместимых материалов и изделий имплантантов***

*В работе выполнен подробный анализ основных результатов исследований по разработке новых технологий создания биосовместимых покрытий имплантантов, обладающих специфическими химическими, механическими, трибологическими и биологическими свойствами с целью ускорения их адаптации в теле человека и значительного увеличения времени их службы.*

*В качестве основной цели дальнейших исследований определена разработка биоактивных наноструктурных покрытий и изделий нового поколения для улучшения качества биоимплантантов, совместимых с костной тканью.*

*Определены основные задачи исследований, включающие разработку новых технологий создания наноструктурированных покрытий, содержащих различные микрокомпоненты; создание опытных и промышленных образцов изделий; оценка различных свойств покрытий, в том числе их биосовместимости и бактерицидной активности.*