

МАТЕРИАЛТАНУ
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ
MATERIALS SCIENCEDOI 10.51885/1561-4212_2023_3_195
MPHTI 76.09**Д.К. Ескермесов^{1,2}, Ж.Т. Төлеуханова¹, З.Е. Арингожина^{1,2}, Е.Е. Табиева^{1,2},
Г.К. Уазырханова¹, В. Ахмед²**¹Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен қ., Қазақстан*E-mail: dyeskermessov@ektu.kz***E-mail: ztoleukhanova@ektu.kz**E-mail: zaringozhina@ektu.kz**E-mail: etabieva@ektu.kz**E-mail: guazyrhanova@ektu.kz*²Линкольн Университеті, Линкольн қ., Англия*E-mail: wahmed@lincoln.ac.uk***НАНОҚҰРЫЛЫМДЫҚ МАТЕРИАЛДАРДЫ МЕДИЦИНАДА ҚОЛДАНУҒА ШОЛУ****ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МЕДИЦИНЕ****REVIEW OF THE APPLICATION OF NANOSTRUCTURAL MATERIALS IN MEDICINE**

Аңдатпа. Нанотехнологияларды электроникамен және есептеу техникасымен интеграциялайтын соңғы әзірлемелер денсаулық сақтау саласында медициналық аспаптарды көп шығаруға орасан зор үлесін қосуда. Осы мақалада стоматологиялық импланттардың, стенттердің, жамбас-сан буын протезінің, түрлі құрылғылардың функционалдылығын арттыру үшін жабындарды пайдалануда қол жеткізілген жетістіктерге баса назар аударамыз. Бұл саладағы жасалынған көптеген басылымдарға қарамастан, денсаулық сақтау саласында жабындарды пайдалану әлеуеті орасан зор және әлі де салыстырмалы түрде пайдаланылмаған. Сол себепті бұл мақалада медициналық импланттардың, стенттердің, буын протездерінің және басқа да құрылғылардың функционалдығын жақсарту үшін жабындарды пайдалануға қысқаша шолу жасалынған.

Түйін сөздер: Жабындар; нанотехнологиялар; биомедицина; тіс имплантологиясы.

Аннотация. Последние разработки, объединяющие нанотехнологии с электроникой и вычислительной техникой, позволяют производить большое количество медицинских устройств для здравоохранения. В этой главе мы сосредоточимся на достижениях, достигнутых в использовании покрытий для повышения функциональности зубных имплантатов, стентов, протезов тазобедренного сустава и различных устройств. Несмотря на многочисленные публикации, потенциал использования покрытий в отрасли здравоохранения огромен и все же относительно неиспользован. Поэтому в данной статье представлен краткий обзор использования покрытий для улучшения функциональности медицинских имплантатов, стентов, протезов суставов и других устройств.

Ключевые слова: Покрытия; нанотехнологии; биомедицина; дентальная имплантология.

Abstract. Recent developments integrating nanotechnology with electronics and computing are producing a large number of medical devices for health care. In this chapter, we focus on the advances made in the use of coatings to enhance the functionality of dental implants, stents, hip prostheses, and miscellaneous devices. Despite numerous publications the potential for using coatings in the healthcare industry is enormous and yet relatively untapped. Therefore, this article provides a brief overview of the use of coatings to improve the functionality of medical implants, stents, joint prostheses, and other devices.

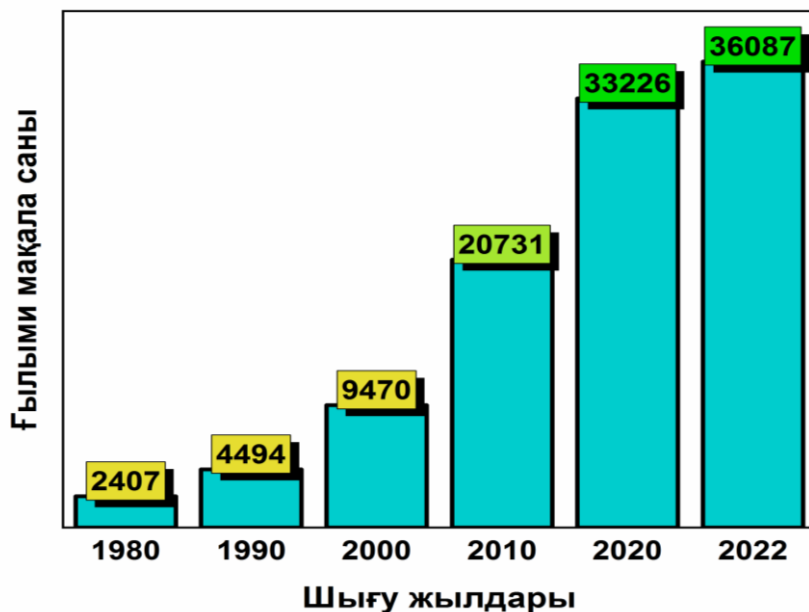
Keywords: *Coatings; nanotechnology; biomedicine; dental implantology.*

Кіріспе. Материалдарды қорғау немесе олардың функционалдығын арттыру үшін жұмыстық сыртқы беттік қабатына жабын алу – жаңа ашылған тұжырымдама деу қиын. Ауқымды қолданыстағы технологиялардың кең тараған мысалдары көптеген жылдар бойы металл төсеніштеріне қорғаныс жабындарын бүрку арқылы қолданыс табуда. Металдық немесе қатты балқымалы жабынның негізгі сипаттамалары әдетте кеуектілік, адгезия және қаттылық болып табылады. Тозу беттері үшін абразивтік жағдайларда тозуға төзімділік маңызды көрсеткіштердің бірі [1]. Тағы бір мысалдарға API (Application Programming Interface) қорғау және өзгерту мақсатында фармацевтикалық деңгейдегі таблеткаларға қорғаныс жабындарын қолдану.

Қазіргі таңда жабынды бүрку арқылы материалдардың беткі қабатының қасиеттерін қорғау және жақсартудың өзі кең таралған сала болып отыр [2]. Нанотехнологиялар саласында наноқұрылымды жұқа пленкалы жабындарды алу бойынша инновациялық әзірлемелерді енгізу ХХІ ғасырдың революциясы атауымен аталған жабын өнеркәсібінің өрлеуіне әкелді [3].

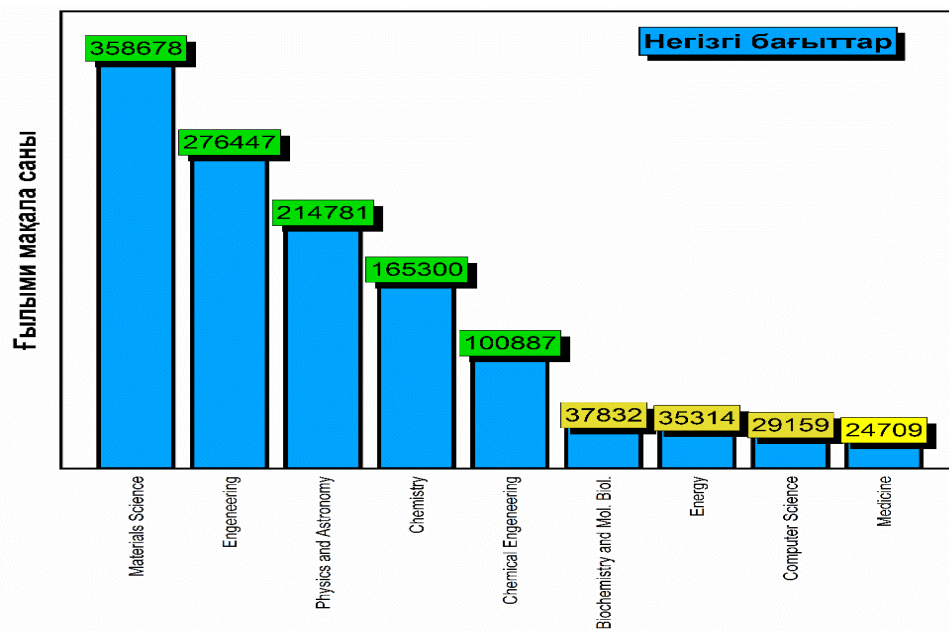
Мақаланың мақсаты наноқұрылымды жабындар мен жұқа пленкаларды қолданудың маңызды орнын анықтау бойынша талдау жүргізу болып табылады, сондай-ақ медициналық импланттардың, стенттердің, тіс импланттарының және басқа құрылғылардың функционалдығын жақсарту үшін жабындарды қолдануға қысқаша шолу жасау.

Әдеби шолу. Соңғы бірнеше онжылдықтарда адамзат өмірі мен қызметінің әртүрлі пәндік салаларында жабындарды алу мәселесі зерттелуде. Жоғары технологиялық мүмкіндіктер дамыған сайын бұл мәселені шешудің жаңа тәсілдері мен жолдары пайда болуда. Бұл нәтижелерді белгілі Scopus ғылыми дерекқорының жылдарына сәйкес корреляция түрінде ұсынуға болады. 1-суретте «жабын» тақырыбы бойынша мақала авторларымен біріге отырып, ғылыми жұмыстардың шығу санының корреляция графигі жасалынған. Бұл зерттеушілердің градуирленген беттік жабынның эволюциясы мен жетілдірілуіне бағытталған жоғары қызығушылығын көрсетеді, және де өндіріс технологиялары мен әртүрлі мақсаттағы материалдардың құрамы, соңғы онжылдықта осы тақырып бойынша өзектіліктің артуын көре аламыз [4].



1-сурет. «Жабын» алу және оны зерттеу бағыты бойынша соңғы он жылдықтардағы жарияланған ғылыми жұмыстар мен мақалалар саны

2-суретте негізгі ғылыми бағыттар бойынша бөлінген жарияланымдар саны көрсетілген. Зерттеушілердің жоғары қызығушылығын көрсететін бағыт ол – материалтану (Materials Science) бағыты екендігі осы салыстырмалы графиктен анық көрінуде, соған қарамастан медицинадағы материалтану саласы әлі де үлкен сұранысқа және қызығушылыққа ие. Бұл бағыт заман талабына сай, жыл өткен сайын, технология даму қарқынына байланысты жаңашылықты талап ететін бағыттың бір түрі.



2-сурет. Ғылыми бағыттарға сәйкес жалпы жұмыстар мен мақалалар саны

Жалпы ғалымдардың бір ауыздан қабылдаған және мақұлдаған ережесіне сүйене келе, нанотехнологияның негізін құрайтын екі кең қолданылатын тәсіл: нанокұрылымдарды жасауда қолданылатын «төменнен жоғары» және «жоғарыдан төмен». «Төменнен жоғары» тәсілін қолдану нанокұрылымдарды молекулалық немесе тіпті атомдық деңгейде жасауды көздейді. Кейін бұл нанокұрылымдарды микро- немесе макроқұрылымдарды жасауда қолдануға болатындығы көрсетілген. Ал төмендеу тәсілін қолдану нанокұрылымдарды қалыптастыру үшін микро- немесе макроқұрылымның бұзылуын қарастыру болып табылады [3].

Нанотехнология аясында зерттелген бұл нанокұрылымдардың өзі функционалды болуы мүмкін, яғни олардың берілген материалға қосылуы жақсартылған қасиеттердің белгілі бір жиынтығын көрсете алуы. Олардың микро немесе макро аналогтарымен, соның ішінде супер гидрофобтылығымен салыстырғанда айтарлықтай артықшылықтары мен ерекше қасиеттері: жақсартылған резистивтік, механикалық беріктіктің жоғарылауы және тағы басқалар саналады [4].

Бүгінгі таңда наножабындарды медицинада қолдану қарқынды түрде әртараптан-дырылуда. Ортопедиялық және тіс импланттарды жабындау остео интеграциясын жақсартады. Бұл термин ұйымдастырылған тірі сүйек пен имплантацияланатын төсеніш беті арасындағы құрылымдық және функционалдық байланысты білдіреді [5].

Соңғы уақытта жасушалар мен стенттердің жабындалуына ерекше назар аударылуда. Бұл нано өлшемді жабынмен стенттердің тамыр мен терілердің жақсырақ үйлесімділігін және имплантация кезінде жасушалардың сақталуын қамтамасыз етеді. Антибиотиктерге төзімділіктің артуына байланысты имплантация процедураларынан кейін инфекциялардың жиілігін төмендететін бактерицидтік жабынға ерекше назар аударылады. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, медициналық құрылғыларды жабындау тұрғысынан стоматология саласындағы кейбір әзірлемелерді қарастырайық.

Тіс импланттары мен протездеу – стоматологиялық өнеркәсіптің маңызды бөлігі. Сондықтан ғылыми зерттеушілердің бұл бағытқа көп көңіл бөлуі таңқаларлық жайт емес. Стоматологиялық өнеркәсіп нанокұрылымды материалдарды немесе бөлшектерді жанасу беттеріндегі жабындарға қосуды қажет етеді. Мысалы, кейбір ғылыми жұмыстар нанокұрылымды гидроксиапатитті түбір өзегіне толтырғыш ретінде пайдалануды қарастырды. Гидроксиапатит бөлшектері (жасуша пролиферациясына ықпал ететін импланттарды жабу үшін қолданылатын материал) шамамен 26 нм әртүрлі арақатынаста түбірлі каналдар үшін герметикке енгізіледі. Жоғары концентрацияларда пленка қалыңдығындағы айырмашылық көп емес. Бақыланған жақсартулар нанокұрылымдалған гидроксиапатитін тіс материалы арасында тұрақты интерфейстер жасау үшін пайдалануға болатынын көрсетті [6]. Гидроксиапатит әдетте имплантациялық жабын материалы ретінде пайдаланылғанымен, кальций фосфаты да әлеуетті балама ретінде зерттеліп, қолданыс тапты. Зерттеу барысында әртүрлі бетінің кедір-бұдырлылығы бар кальций фосфатты нано-жабынды стоматологиялық импланттардың остеоинтеграция дәрежесін (имплант бетінде тікелей сүйек тұндыру) салыстырды. Бұл зерттеудің негізгі бағыты нано жабын бетінің кедір-бұдырлығының остео интеграциясына әсері болғанымен, кальций фосфатының нано жабындары остео интеграциясы тұрғысынан сәтті болып табылады, сонымен қатар теориялық тұрғыдан импланттың бүкіл бетіндегі сүйектің орналасуына тікелей әсер етеді [7].

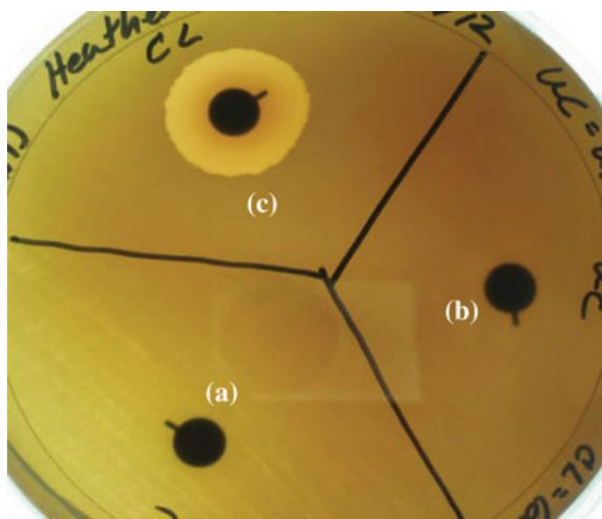
Денсаулық сақтау ғылымдарына келетін болсақ, нано жабындар импланттарда кеңінен қолданылады, көбінесе олардың тіндермен жалпы био үйлесімділігін жақсартады. Бұл нано жабыны жоқ импланттарға қарағанда интеграцияның үлкен дәрежесіне әкеледі. Осы мақсатта стоматологиялық өнеркәсіпте нано жабындарға және олардың әкелетін ықтимал артықшылықтарына үлкен қызығушылық бар және жыл өте артуда [8]. Сонымен қатар,

альтернативті салалар жоғарыда аталған мәтінде талқыланғандай, ультра жұқа жабындарды, жақсартылған қасиеттері бар наножабындарды қолданудан өз пайдаларын алды. Төсеніштің жақсартылған қорғанысы және ең бастысы, имплант жабындары: жабындарды қабылдаудың жақсаруы, адгезиясы мен беріктігі – медицинада қолдануға болатын бірнеше артықшылықтары болып табылады.

In Vivo титан имплантаттарындағы гидроксипатит нанобөлшектерінің жабындарының тұрақтылығы зерттелді. Себебі алдыңғы зерттеулер нано құрылымды беткі қабаты бар материалдарды пайдалану кезінде импланттардың айналасындағы сүйектерді емдеуге оң әсерін көрсетті.

Веннерберг (Wennerberg) және авторлар [9] радиоактивті таңбаланған нанобөлшектермен жабылған титан импланттарын зерттеді. Авторлардың аталмыш мақаланы жазғандағы басты мақсаттары – наноқабаттың тұрақсыздығы сияқты ықтимал жағымсыз әсерлерді анықтау болды.

Стоматологиядағы эстетикалық қалпына келтіру көптеген жаңа әзірлемелердің негізгі қозғаушы күші болып табылады. Клиникалық қолданым кезінде цирконий негізіндегі тіндерді стоматологиялық қалпына келтіру өзектерде көрінетін адгезиялық қосылыстың беріктігіне тығыз байланысты. Тіс цементінде наноқұрылымды алюминий оксиді жабындарын қолдану ілінісу беріктігі тұрғысынан зерттелді. Мұндай жабындарды қолдану тіс жақпасының беріктігін екі-төрт есе арттырып, ұқсас әдістермен салыстырғанда адгезия беріктігін едәуір арттыратыны көрсетілген. Имплантта инфекцияның алдын алу бойынша бактериялық адгезияны болдырмау көптеген зерттеулердің басты бағыты болады. Жүргізілген зерттеулер теріс зарядталған, цефазолин сіңдірілген синтетикалық полипептидтердің көп қабатты наноқабаттары имплантациядан кейінгі операциядан соң инфекцияның алдын алатынын көрсетті [10]. 3-суретті қарастырған кезде наноқабат цефалоспорин антибиотигін сіңдірген жерде ғана ингибирлеу аймағы, яғни бактериялық пролиферацияның болмау аймағы көрсетілгенін атап өтуге болады. Ингибирлеу аймағының сынақтары полипептидті көп қабатты наноқабаттарға енгізілген цефазолин *S. aureus* өсуін тежей алатыны байқалады. Мақалада тот баспайтын болаттан жасалған дискілердің үш түрі қолданылды: а – жабынсыз диск, b – полипептидті көп қабатты наноқабатты жабынмен қапталған диск, с – полипептидті көп қабатты наноқабатты жабынмен қапталған және цефазолин сіңдірілген диск.



3-сурет. Бактериялық пролиферация жоқ аймақ [10]

Металл импланттарының биоүйлесімділігі биологиялық ортаға имплантациялау кезінде коррозияға байланысты проблемаларға үлкен алаңдаушылық туғызатын мәселе болып табылады. Ниобий биоүйлесімділік мәселелерін шешу үшін әлеуетті жоғарғы материал ретінде зерттелді. Жүргізген зерттеулерде Ti6Al4V жұқа қабаттарымен салыстырғанда тот баспайтын болаттан жасалған тіс импланттарының тұрақтылығы мен қызмет ету мерзімін жақсартудағы ниобий негізіндегі жұқа қабаттардың әлеуетін зерттеді [11]. Импланттарға арналған материал ретінде титан стоматология мен ортопедия саласында материалдың биоүйлесімділігінің жоғары дәрежесі ретінде, сондай-ақ материалдың бірегей қасиеттеріне және төмен құнына байланысты кең танымалдылығын және сұранымға ие екендігін көрсетті.

Өкінішке орай, биомедициналық құрылғылармен байланысты инфекциялар (BI-biomedical devices associated infection) әдетте емдеу жылдамдығының төмендеуіне және қайта операцияға әкелетіндігі. Соның нәтижесінде инфекцияның алдын алу әдістері кеңінен зерттелді. Осындай әдістердің бірі ВАІ-ді азайту мақсатында импланттардың бетіне күміс нанобөлшектерін қолдануды ұсынады [12].

Сүйек имплантациясынан басқа, инертті полимерлі материалдардан жасалған жасанды қабықтарға арналған нано жабындар сәтті енгізілді. Бұл материалдарда көрсетілген биоүйлесімділіктің кемшілігі импланттардың нашар бекітілуіне әкелетіні белгілі; мұны жеңу әдісі ретінде гидроксипатит наноқабаттары ұсынылды. Мұндай жақсартуларға жасушалардың жабысып, өсуіне мүмкіндік беретін мембрананың шетіне кеуекті жиек енгізу арқылы қол жеткізілді. Содан кейін олар биоактивті материалмен – гидроксипатит нанобөлшектерімен жабылған. Бұл қабық жасушаларының өсуіне де әсер ететіні белгілі болды. Жасуша дақылдарымен сыналған кезде мүйізді қабық жасушаларының өскені анықталды.

Гидроксипатит нанобөлшектері имплантация кезінде импланттың деградациясына кедергі келтіреді. Нанобөлшектердің қасиеттерін жақсарту оңай болмауы мүмкін, бірақ бұл мақсатқа жетудің жаңа тәсілі – нанобөлшектерге ультра жұқа жабын алу. Нанобөлшемді гидроксипатит ұсынатын жақсартылған механикалық қасиеттер, олар композиттер түрінде полимерлермен біріктірілген кезде, полимердің бөлшектермен әлсіз байланысуына байланысты жойылады. Осы мәселені шешу үшін нанобөлшектерді ыдырайтын полимерді қолдану арқылы нанобөлшектермен жабу жүзеге асырылған. Полимерлі композиттің механикалық беріктігі мен оның цитосәйкестігі жабынсыз және ыдырамайтын бақылау үлгілерімен салыстырғанда, ультра жұқа, ыдырайтын жабындары бар бақылау үлгілерінің айтарлықтай жақсарғанын көрсетеді.

Инсинуациямен жабылған материалдың жасушалық адгезиясын Хирата (Hirata) және т.б. зерттеді. Полилактикалық қышқыл, тіндік инженерия үшін өте қажет материал. Ол жасушалардың бетіндегі адгезиясынан зардап шегеді. Көміртекті нано түтіктерді пайдаланып полилактикалық қышқыл беттерін жабу плазмалық өңдеу сияқты дәстүрлі әдістермен және химиялық қосылыстармен салыстырғанда оның бетінің сулануын және жасуша адгезиясын жақсаруын көрсеткен. Көміртекті нано түтіктерді нано жабын ретінде пайдаланудың негізгі анықталған артықшылықтары жабдыққа қойылатын талаптардың төмендеуі және ыңғайлылық [13].

Нано деңгейде жұмыс істеу жасушалық деңгейде өзара әрекеттесуге мүмкіндік берді. Наноалмаз моноқабаттары (төсеніш бетінде моноқабат ретінде қолданылатын наноқұрылымды алмаз) нейрондық өсу платформасы ретінде пайдаланылады: төрт түрлі материал – шыны, поликристалды алмаз, нанокристалды алмаз және силикон – монодисперсті

наноалмаздардың монокабаттарымен қапталған. Бұл нейрондық жасушалардың бекітілуіне қатысты ақуызбен қапталған материалдармен жақсы ұқсас. Ақуызбен қапталған төсеніштермен салыстырғанда нейрондар наноалмазбен қапталған материалмен тікелей байланыста өсе алды және оларды ұзақ уақыт бойы қажет ортада ұстау оңай болды. Осылайша, наноалмаздар жоғары биоүйлесімділікті көрсетті. Сонымен қатар, наноалмаз кабаттары имплантанттар үшін әлеуетті өміршең және құнды әдіс ретінде танылды.

Брайк (Braic) және онымен біріккен авторларының зерттеуі ортопедиялық имплантанттардың қорғаныш пленкалары ретінде күрделі карбонитридті жабындардың әлеуетін атап өтті. Зерттеу арнайы түрде Si (кремний) және Ti6Al4V қорытпаларының төсеніштеріне қолданылатын (Zr, Ti)CN жабындарына бағытталған. Коррозияға төзімділік тұрғысынан салыстырғанда, қапталған төсеніш тек Ti6Al4V қорытпасынан айқын артықшылық көрсетті; сонымен қатар, жасушалардың өміршеңдігіне, зерттеулер көрсеткендей, жабыны бар беттер қатты гидрофобты болғанымен (байланыс бұрышының жоғары мәндерге ие болуы көрсеткендей), остеосаркома жасушаларының жабыны бар төсеніштерге әсер етуі жасушалардың 90,5 %-ға дейін өміршеңдігінің ұзарғандығы байқалды [14].

Имплантат материалдарында тот баспайтын болатты қолдану медициналық салада материалдың механикалық беріктігі, сондай-ақ пайдалану тұрғысынан жалпы экономикалық тиімділігі арқасында өзін жақсы көрсетті. Дегенмен, пайдаланылған материалдың беткі коррозиясы да осы материалдың бетінен металл иондарының ықтималды бөлінуіне әкелетін маңызды мәселе болып қалуда. Сиеслик (Cieslik) және авторлар тот баспайтын болаттың бетіне полипарааксиллен/парилленполимер жабындарын қолдану арқылы бетінің тегістігі күрт өскенін көрсетті. Сонымен қатар, дене сұйықтықтарын имитациялаумен жарылыс кезінде тот баспайтын болаттың бетінен металл иондарының бөлінуі үш есе артып қана қоймай, сонымен қатар микро жабын түрінде қолданған кезде механикалық және қорғаныс қасиеттері жақсарды [15].

Бактериялардың көбеюіне жол бермеу үшін күмісті қолдану жаңа аспект емес. Фордхэм (Fordham) және басқалар жүргізген зерттеуде күмісті биомедициналық импланттар үшін жұқа қабықшалы жабын ретінде пайдалану зерттелінген. Күмістің микробқа қарсы белсенділігі анықталғанымен, *Escherichia coli* (әдетте кездесетін темір оксидімен) және алтын стафилококк әсерінен материалдың ингибирлеу (бәсеңдету) аймағын құруға қабілетсіздігі тек осы материалдың бактерицидтік ретінде жіктелуі үшін жеткіліксіз екенін көрсетті. Бірақ бактериялардың адгезиясын немесе импланттардың колонизациясын болдырмау үшін қосымша шара ретінде пайдаланылуы мүмкін деп тұжырымдалынған [16].

Буын импланттарын имплантациялаудан кейін бактериялардың көбеюінің алдын алудың балама құралдарына гидроксипатит пленкасын магнетитпен сіңдіру енгізілген. *Escherichia coli* бактерияға ұшыраған кезде, бұл жабындар жұқа қабат бетіне бактериялық адгезияны айтарлықтай төмендете алды. Гидроксипатитті бақылау жұқа қабатпен салыстырғанда, сыртқы магнит өрісі болған кезде жабынның жұқа қабықшаның бетіне бактериялардың жабысуын болдырмайтын қабілеті жоғарылағаны анықталды, дегенмен бұл әсер құрамында магнетит жоқ жұқа қабат үшін айтарлықтай өзгерістер енгізді.

Джаи (Jia) және авторлардың [17] зерттеулері қапталған төсенішті коррозиядан қорғайтын сондай-ақ күміс нанобөлшектерінің 28 күн бойы тұрақты шығарылуын қамтамасыз етіп отыратын күміс нанобөлшек жабынының дамуына әкелді. Сонымен қатар, тері астына имплантациядан кейін қапталған төсеніштер тікелей бақылаумен салыстырғанда төмен қабыну реакциясын тудырған.

Бактериялардың көбеюіне жол бермеу және кейіннен импланттарды қабылдау үшін

бактерияға қарсы белсенділігі бар имплантат жабындарын молекулалармен немесе бөлшектермен сіндіру кеңінен қолданылатын стратегия болып саналады. Дегенмен, имплант бетіндегі ақуыздың адсорбциясы бактериялардың көбеюінің алғышарты болып табылатындықтан, ұстап қалудың логикалық сәті осы процестен алдын алу болып табылады.

Ху (Khoо) және авторлар жүргізілген зерттеулерінде 4-суретте көрсетілген әртүрлі пегилирленген (PEG) титан байланыстыратын пептидтерді (TBPs-titanium-binding peptides) пайдалана отырып, титан имплантатын жабу арқылы алтын стафилококктың бекітілуін және кейіннен бактериялық биоқабықшаның түзілуін (әсіресе жойылуы қиын) болдырмауға болатынын көрсетті [18].



4-сурет. Бір немесе бірнеше TBPs (көк), пептидтік байланыс (күміс) және PEG (алтын) бөлшегі бар бактериофобты жабындар [18]

Тамырлы стенттер қан айналымының бұзылуын емдеудегі қолданылатын маңызды медициналық құрылғылардың бірі болып табылады және оларды кардиохирургтар кеңінен қолданып келеді. Оларды қолдану кезіндегі ағзаның стенттерді қабылдау қабілетіне байланысты бірқатар мәселелердің барын да ескерген жөн. Жабындар осы биологиялық сәйкестену мәселесін шешудің жолын қамтамасыз етті. Жүрек ұстамасынан кейін қан тамырларын кеңейту үшін жиі қолданылатын тамыр стенттерін эндотелиализациялау зерттеудің маңызды саласы болып табылады. Жүрек-қан тамырларына арналған стенттерге жабындарды қолдану - бұл наножабындардың артықшылықтарын пайдаланып отырған биомедицинаның бірден-бір саласы. Стенттік жабындар идеалды болуы керек екені анық, сондықтан оларға қойылатын талаптар да өте көп. Мысалы, тромбогендік, кальцинацияға қарсы, механикалық қасиеттер және т.б. Осы талаптардың барлығын наножабындарды қолдану арқылы қамтамасыз ету мүмкіндігі өте жоғары.

Стенттердегі тіндердің дұрыс өспеуі қайта медициналық процедураларды қажет етеді және тромбоциттерге қарсы терапияны тоқтатқаннан кейін тромбоз сияқты проблемаларды тудырады. Танг (Tang) және т.б. зерттеулерінде эндотелий жасушаларының стенттерге адгезиясына байланысты мәселелерге назар аудара отырып тамыр-ішілік стенттердің әртүрлі түрлеріне қолданылатын қалыңдығы 50 нм плазмалық жабындар қолданды. Талдау кезінде жабынсыз стенттермен салыстырғанда плазмалық жабыны бар стенттер жасушалардың адгезиясын едәуір жоғары көрсеткенін айтуға болады. Бұл стенттердің плазмалық жабыны эндотелизацияны жақсартудың өміршең нұсқасы болуы мүмкін екенін көрсетеді [19].

Стенттерді эндотелиализациялаудың маңыздылық себебін жасуша бетінің адгезиясының төмендігімен және рестеноз бен тромбоэмболиялық асқынулар ықтималдығының төмендеуімен түсіндіруге болады. Зерттеулер NiTi негізіндегі стенттерді қолданудың аллергиялық реакцияларды немесе уыттылықты тудыруы мүмкін ықтимал асқынуларын одан әрі анықтады. NiTi негізіндегі жүрек-қан тамырлары стенттерінің бетіндегі эндотелий жасушаларының өсуін жақсарту үшін тамырлы эндотелий өсу факторы бар функционалды

нано жабындар қолданылды. Атап айтқанда, Al_2O_3 наноқабаты стенттен Ni элементін босату жылдамдығының 16 есе төмендеуіне әкелді.

Тіндердің регенерациясын (стенттерді) қайта эндотелиализациялауды зерттеу жасушалармен биоүйлесімділігі бар поли 3,4-этилендиокситиофен (PEDOT-Poly3,4-ethylenedioxythiophene) негізіндегі нано жабындардың артықшылықтарын көрсетті. Зерттеулер қалың полимерлі жабындардың қабыну реакцияларын қоздыруға, сондай-ақ эндотелийдің локализацияланған жоғары сезімталдығына жауап беретінін көрсетті. Бұл қалың жабындардың біркелкі еместігі тромбоздың қалыптасуына ықпал етеді деп есептелді. PEDOT наножабындарын пайдалану эндотелий жасушаларымен жақсы үйлесімділікті көрсетіп, жабын қабаттарының жұқалығы, сондай-ақ бетінің кедір-бұдырлығының аздығы жабындардың үйлесімділігіне ықпал етті.

Күміс жабындардың тиімділігін арттыру мен ұзартуға бағытталған қосымша зерттеуді Taheri және т.б. жүргізді [20]. Күміс нанобөлшектерінің бетін 2-меркаптосукцинді қышқылының (mercaptosuccinic acid $HOOCCH(SH)CH_2COOH$) моноқабатымен модификациялады. Ол өз кезегінде күміс нанобөлшектерінің тотығу жылдамдығын төмендетумен қатар, қатты төсеніштердің бетіндегі нанобөлшектердің иммобилизациясын жеңілдететіні белгілі болып, жабындардың қызмет ету мерзімін ұзартуға әкелді.

Қорытынды. Медициналық бұйымдардың бетіне түрлі жабындар алу көптеген маңызды зерттеулер және әзірлемелермен үнемі ауқымы кеңейіп, күрделі зерттеліп келе жатқан бағыт екені анықталды. Бұл мақалада осы салада жүргізілген көптеген соңғы зерттеулер қамтылды. Әрбір жүргізілген ғылыми жұмыста жаңа материалдар мен қолдану әдістері анықталып, ұсынылып, сонымен қатар зерттеулердің айтарлықтай көлемді екені көрсетілді. Ота жасау санының артуымен қатар, зиянды салдары – медициналық құрылғылардың беттерінде, импланттарда немесе стенттерде бактериялардың көбеюіне жол бермеуге баса назар аударудың керектігі айқындалды. Зерттеулер қолданыстағы жабын материалдарын жақсартудың және функционалдық қасиеттерін арттырудың біршама қолданбалары тұстары мен мүмкіндіктерінің жоғарыда аталған мақалалардағы, атап айтсақ соның ішінде көп таралған: гидросиапатит немесе кальций фосфаты, таза Ti немесе оның қорытпалары Ti6Al4V, алюминий оксиді, синтетикалық полипептидтер немесе күміс нанобөлшектері, инертті полимерлі материалдар немесе көміртекті нанотүтіктер, наноалмаз және Nb, Zr элементтері екендігін көрсетті.

References

1. Zlobin S.B., Ulyanitskiy V.Yu., Shtertser A.A.. Сравнительный анализ свойств наноструктурных и микроструктурных керметных детонационных покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2009. – № 3. – С. 3-11.
2. <https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plff&src=s&st1=coatings&sid=726eccf9cfa7d3375f36cd6b122abdbdc&sot=b&sdt=b&sl=23&s=TITLE-ABS-KEY%28coatings%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&yearFrom=Before+1960&yearTo=Present>
3. Sreenivasalu P.K.P., Dora C.P., Swami R., Jasthi V.C., Shiroorkar P.N., Nagaraja S., Asdaq S.M.B., Answer M.K. Nanomaterials in Dentistry: Current Applications and Future Scope // Nanomaterials. – 2022. –12. – 1676.
4. Ranjbar Z., Rastegar S. Nano mechanical properties of an automotive clear-coats containing nano silica particles with different surface chemistries // Progress in Organic Coatings. – 2010. – 72. – P. 40-43.
5. Lee U.-L., Yun S., Lee H., Kim C.M., Choung P.-H. Osseointegration of 3D-printed titanium implants with surface and structure modifications // Dental Materials. – 2022. – 38(10). –1648-1660.
6. Collares F.M., Leitune V.C., Rostirolla F.V., Trommer R.M., Bergmann C.P., Samuel S.M.

- Nanostructured hydroxyapatite as filler for methacrylate-based root canal sealers // *International Endodontic Journal*. – 2012. – 45. – P. 63-67.
7. Choi J.Y., Jung U.W., Kim C.S., Jung S.M., Lee I.S., Choi S.H. Influence of nanocoated calcium phosphate on two different types of implant surfaces in different bone environment: An animal study // *Clinical Oral Implants Research*. – 2013. – 24. – P. 1018-1022.
 8. Mota E.G., Subramani K. Chapter 4 – Nanotechnology in operative dentistry: A perspective approach of history, mechanical behavior, and clinical application. In K. Subramani & W. Ahmed (Eds.), *Emerging nanotechnologies in dentistry micro and nano technologies*. Boston: William Andrew Publishing. – 2012.
 9. Wennerberg A., Jimbo R., Allard S., Skarnemark G., Andersson M. In vivo stability of hydroxyapatite nanoparticles coated on titanium implant surfaces // *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*. – 2011. – 26. – P. 1161-1166.
 10. Jiang B., Li B. Polypeptide nanocoatings for preventing dental and orthopaedic device-associated infection: pH-induced antibiotic capture, release, and antibiotic efficacy // *Journal of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*, – 2009. – 88. – P. 332-338.
 11. Xu Z., Yate L., Qiu Y., Wang G., Pan H. Potential of niobium-based thin films as a protective and osteogenic coating for dental implants: The role of the nonmetal elements // *Materials Science and Engineering C*. – 2019. – 96. – P.166-175.
 12. Jia Z., Xiu P., Li M., Xu X., Shi Y., Cheng Y. Bioinspired anchoring AgNPs onto micro-nanoporous TiO₂ orthopedic coatings: Trap-killing of bacteria, surface-regulated osteoblast functions and host responses // *Biomaterials*. – 2016. – 75. – P. 203-222.
 13. Hirata E., Akasaka T., Uo M., Takita H., Watari F., Yokoyama T. Carbon nanotube-coating accelerated cell adhesion and proliferation on poly (L-lactide) // *Applied Surface Science*. – 2012. – 262. – P. 24-27.
 14. Braic V., Braic M., Balaceanu M., Vladescu A., Zoita C. N., Titorencu I. et al. (Zr, Ti)CN coatings as potential candidates for biomedical applications // *Surface and Coatings Technology*. – 2011. – 206. – P. 604-609.
 15. Cieslik M., Kot M., Reczynski W., Engvall K., Rakowski W., Kotarba A. Parylene coatings on stainless steel 316L surface for medical applications – Mechanical and protective properties // *Materials Science and Engineering C*. – 2012. – 32. – P.31–35.
 16. Fordham W. R., Redmond S., Westerland A., Cortes E. G., Walker C., Gallagher C. et al. Silver as a bactericidal coating for biomedical implants // *Surface and Coatings Technology*. – 2014. – 253. – P. 52-57.
 17. Jia Z., Xiu P., Li M., Xu X., Shi Y., Cheng Y. et al. Bioinspired anchoring AgNPs onto micro-nanoporous TiO₂ orthopedic coatings: Trap-killing of bacteria, surface-regulated osteoblast functions and host responses. // *Biomaterials*. – 2016. – 75. – P. 203-222.
 18. Khoo X., OToole G. A., Nair S. A., Snyder B. D., Kenan D. J., Grinstaff M. W. Staphylococcus aureus resistance on titanium coated with multivalent PEGylated-peptides // *Biomaterials*. – 2010. – 31. – P. 9285-9292.
 19. Tang C. J., Wang G. X., Shen Y., Wan L. J., Xiao Zhang Q. et al. A Study on surface endothelialization of plasma coated intravascular stents. // *Surface and Coatings Technology*. – 2009. – 204. – P. 1487-1492.
 20. Taheri S., Cavallaro A., Christo S. N., Smith L. E., Majewski P., Barton M. Substrate independent silver nanoparticle based antibacterial coatings // *Biomaterials*. – 2014. – 35. – P. 4601-4609.
-
-