

**DENTAL IMPLANTOLOGIYADA BIOMATERIALLAR EVOLYUTSIYASI:
OSSEOINTEGRATSIYANI YAXSHILASHNING ZAMONAVIY YONDASHUVLARI**

Xislatillayeva Feruzaxon Xikmatilla qizi

Kimyo International University in Tashkent.

Tuychiyeva Mohinabonu Abduaziz qizi

Kimyo International University in Tashkent.

Sadulloyeva Fotima Abdullo qizi

Kimyo International University in Tashkent.

Axmadjonova Ruxshona Raximjon qizi

Kimyo International University in Tashkent.

Musajonova Umidaxon Nosirjon qizi

Kimyo International University in Tashkent.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.23527528>

Annotatsiya. Dental implantologiyada biomateriallarning evolyutsiyasi implantlarning suyak to'qimasi bilan mustahkam va uzoq muddatli integratsiyasini ta'minlash, davolash samaradorligini oshirish hamda periimplant asoratlari xavfini kamaytirishga qaratilgan muhim ilmiy yo'nalishlardan biridir. Mazkur maqolada dental implantologiyada qo'llaniladigan biomateriallarning rivojlanish bosqichlari, titan va uning qotishmalari, sirkoniy dioksid asosidagi biomateriallar, implant yuzasini mikro- va nanostrukturaviy modifikatsiyalash hamda bioaktiv qoplamalarning osseointegratsiyaga ta'siri tahlil qilinadi. Ilmiy adabiyotlar tahlili gidrofil yuzalar, kalsiy-fosfat va gidroksiapatit qoplamalari, kollagen, suyak morfogenetik oqsillari (BMP-2), o'sish omillari va biomimetik modifikatsiyalar suyak bilan implant o'rtasidagi kontakti yaxshilash hamda dastlabki suyak regeneratsiyasini rag'batlantirish imkoniyatiga ega ekanligini ko'rsatadi. 2024-yilda e'lon qilingan tizimli sharh va meta-tahlilda bioaktiv yuzaviy modifikatsiyalar suyak-implant kontaktining oshishi bilan bog'liqligi aniqlangan. Shu bilan birga, yangi biomateriallarning klinik samaradorligi ularning fizik-kimyoviy xususiyatlari, sirt topografiyasi, biologik faolligi va bemorning umumiy holatiga bog'liq. Zamonaviy yondashuvlar istiqbolli natijalarni ko'rsatayotgan bo'lsa-da, ularning uzoq muddatli klinik ustunligini aniqlash uchun standartlashtirilgan, keng qamrovli klinik tadqiqotlar zarur.

Kalit so'zlar: dental implantologiya, biomateriallar, osseointegratsiya, titan implantlar, sirkoniy dioksid, bioaktiv qoplamalar, nanostrukturaviy modifikatsiya, gidroksiapatit, biomimetik yuzalar, suyak regeneratsiyasi.

KIRISH

Zamonaviy stomatologiyada dental implantologiya yo'qotilgan tishlarni tiklashning eng samarali va keng qo'llaniladigan yo'nalishlaridan biri hisoblanadi. Dental implantlarning klinik muvaffaqiyati, avvalo, implant yuzasi bilan atrofdagi suyak to'qimasi o'rtasida mustahkam strukturaviy va funksional bog'lanishning hosil bo'lishiga, ya'ni osseointegratsiya jarayoniga bog'liq. Osseointegratsiya implantning uzoq muddat davomida barqaror faoliyat yuritishini ta'minlaydigan asosiy biologik mexanizm bo'lib, uning samaradorligi implant materiali,

yuzasining fizik-kimyoviy xususiyatlari, suyak to'qimasining holati hamda bemorning individual biologik omillari bilan belgilanadi.

Dastlabki dental implantologiya tadqiqotlarida asosiy e'tibor biologik moslashuvchanligi va mexanik mustahkamligi yuqori bo'lgan titan hamda uning qotishmalaridan foydalanishga qaratilgan. Titan implantlarining suyak to'qimasi bilan yaxshi integratsiyalashish xususiyati ularning klinik amaliyotda keng tarqalishiga zamin yaratdi. Biroq implantologiya rivojlanishi bilan faqat materialning kimyoviy tarkibi emas, balki implant yuzasining mikrogeometriyasi, g'adir-budurligi, namlanuvchanligi va biologik faolligi ham osseointegratsiya jarayonida muhim ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi. Shu sababli zamonaviy tadqiqotlarda implant yuzasini modifikatsiyalash, bioaktiv qoplamalardan foydalanish va suyak regeneratsiyasini boshqarishga qaratilgan yangi texnologiyalarni ishlab chiqishga alohida e'tibor berilmoqda.

So'nggi yillarda biomateriallar evolyutsiyasining muhim yo'nalishlaridan biri biologik faol va biomimetik implant yuzalarini yaratish hisoblanadi. Bunday yondashuvlar tabiiy suyakning hujayraviy va molekulyar xususiyatlarini taqlid qilish orqali osteoblastlarning differensiallanishi, suyak matritsasining shakllanishi va implant atrofidagi suyak regeneratsiyasini qo'llab-quvvatlashga qaratilgan. Shayeb va hammualliflar tomonidan 2024-yilda e'lon qilingan tizimli sharh va meta-tahlilda bioaktiv yuzaviy modifikatsiyalar qo'llangan implantlarda suyak-implant kontakti ko'rsatkichining statistik jihatdan yaxshilanishi qayd etilgan. Biroq tadqiqotlar o'rtasidagi farqlar va kuzatuv muddatining cheklanganligi ushbu natijalarni uzoq muddatli klinik samaradorlik bilan tenglashtirishga imkon bermaydi.

ASOSIY QISM

Dental implantologiyada biomateriallar evolyutsiyasi: osseointegratsiyani yaxshilashning zamonaviy yondashuvlari

1. Dental implantologiyada biomateriallarning rivojlanish bosqichlari

Dental implantologiya rivojlanishi implantlarning biologik moslashuvchanligi, mexanik mustahkamligi va suyak to'qimasi bilan integratsiyalashish xususiyatlarini takomillashtirish bilan chambarchas bog'liq. Dastlabki implant tizimlarida asosiy e'tibor implantning suyak ichida mexanik barqarorligini ta'minlashga qaratilgan bo'lsa, zamonaviy tadqiqotlarda materialning kimyoviy tarkibi, yuzaviy topografiyasi, gidrofilligi va biologik faolligi ham muhim mezonlar sifatida qaralmoqda.

Osseointegratsiya — tirik suyak to'qimasi bilan implant yuzasi o'rtasida bevosita strukturaviy va funksional bog'lanish hosil bo'lishidir. Ushbu jarayon implantning chaynash yuklamalariga bardosh berishi, barqarorligi va uzoq muddat xizmat qilishida muhim ahamiyatga ega. Osseointegratsiya birlamchi mexanik barqarorlikdan farqli ravishda, asosan, biologik bitish jarayoni natijasida shakllanadi.

Hozirgi kunda dental implantologiyada qo'llaniladigan asosiy biomateriallar titan va uning qotishmalari, sirkoniy dioksid keramikasi hamda implant yuzasiga surtiladigan bioaktiv qoplamalardan iborat. Titan o'zining yuqori korroziyaga chidamliligi, mexanik mustahkamligi va biologik moslashuvchanligi tufayli eng ko'p o'rganilgan materiallardan biri hisoblanadi. Sirkoniy dioksid esa estetik xususiyatlari bilan ajralib turadi.

Gidroksiapatit va kalsiy-fosfat qoplamalari suyak mineraliga o'xshash tarkibi sababli suyak to'qimasining implant bilan o'zaro ta'sirini yaxshilash maqsadida qo'llaniladi.

Biomateriallar evolyutsiyasidagi asosiy o'zgarish shundan iboratki, bugungi kunda implant faqat mexanik tayanch sifatida emas, balki suyak hujayralarining faoliyatiga ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lgan biologik interfeys sifatida ham qaralmoqda.

2. Implant biomateriallarining fizik-kimyoviy va biologik xususiyatlari

Implant materialining samaradorligi uning kimyoviy tarkibi, elastiklik moduli, korroziyaga chidamliligi, sirt energiyasi va biologik to'qimalar bilan o'zaro ta'siriga bog'liq. Material suyak to'qimasiga mos kelishi bilan birga, chaynash vaqtida yuzaga keladigan takroriy mexanik yuklamalarga ham bardosh berishi kerak.

Titan va uning qotishmalarining afzalligi shundaki, ularning yuzasida hosil bo'ladigan oksid qatlami materialning korroziyaga chidamliligini oshiradi va biologik muhit bilan o'zaro ta'sirida muhim rol o'ynaydi. Biroq titan implantlarining ham ayrim cheklovlari mavjud: yumshoq to'qimalar yupqa bo'lgan estetik sohalarda metall rangining ko'rinishi va materialning ayrim klinik holatlarda individual moslashuvchanligi e'tiborga olinadi.

Sirkoniy dioksid implantlarining estetik afzalligi ularning metall bo'lmagan, oq rangli material ekanligi bilan izohlanadi. Shu bilan birga, ularning mexanik xususiyatlari, dizayni va uzoq muddatli klinik natijalari alohida baholanishi kerak. Sirkoniy implantlar bo'yicha ilmiy dalillar soni ortib borayotgan bo'lsa-da, titan bilan barcha klinik ko'rsatkichlar bo'yicha teng yoki ustun ekanligi to'liq isbotlangan deb bo'lmaydi.

3. Osseointegratsiyani yaxshilashda implant yuzasini modifikatsiyalash

Implant yuzasining xususiyatlari osseointegratsiyaning dastlabki bosqichlarida muhim rol o'ynaydi. Implant suyak to'qimasiga o'rnatilgandan so'ng uning yuzasida qon oqsillari adsorbsiyasi, fibrin laxtasining shakllanishi, yallig'lanish hujayralarining migratsiyasi va osteoblastlarning faollashuvi kabi jarayonlar kechadi. Yuzaviy modifikatsiyaning asosiy maqsadi ushbu biologik jarayonlar uchun qulay muhit yaratishdan iborat.

3.1. Mexanik va kimyoviy modifikatsiya. Qum bilan ishlov berish, kislota bilan ishlov berish va ularni birgalikda qo'llash implant yuzasida mikrorelyef hosil qiladi. Bunday yuzalar suyak bilan mexanik birikishni yaxshilashi mumkin. Anodlash usuli esa titan yuzasidagi oksid qatlamining xususiyatlarini o'zgartirish imkonini beradi. Natijada yuzaning topografiyasi, kimyoviy tarkibi va ayrim hollarda namlanuvchanligi boshqariladi.

3.2. Nanostrukturaviy modifikatsiya. Nanometr o'lchamdagi sirt tuzilmalari hujayralarning yopishishi, tarqalishi va differensiallanishiga ta'sir qilishi mumkin. Biroq nanostrukturaning samarasi uning o'lchami, shakli, zichligi va boshqa yuzaviy xususiyatlariga bog'liq. Shu sababli barcha nanomodifikatsiyalar bir xil biologik natija beradi, deb bo'lmaydi.

3.3. Lazer yordamida modifikatsiyalash. Lazer texnologiyalari implant yuzasida nazorat qilinadigan mikrorelyef yaratish uchun o'rganilmoqda. Ushbu usul sirtning takrorlanuvchan tuzilishini hosil qilish imkonini beradi. Uning amaliy samaradorligi esa ishlov berish parametrlari, implant materiali va keyingi biologik javobga bog'liq.

Osseointegratsiyani baholashda eng ko'p ishlatiladigan morfometrik ko'rsatkichlardan biri BIC (bone-to-implant contact) hisoblanadi. U implant yuzasining bevosita suyak bilan tutashgan qismini foizda ifodalaydi. BIC yuqori bo'lishi suyak bilan integratsiyaning yaxshiroq ekanini ko'rsatishi mumkin, ammo bu ko'rsatkichning o'zi implantning uzoq muddatli klinik muvaffaqiyatini to'liq tavsiflamaydi.

Al Shayeb va hammualliflarning 2024-yilgi tizimli sharhi va meta-tahlilida bioaktiv yuzaviy modifikatsiyalar bo'yicha suyak-implant kontakti ko'rsatkichida umumlashtirilgan o'rtacha farq 7,29 birlikni tashkil etgan (95% ishonch oralig'i: 2,94–11,65; $p = 0,001$).

Tadqiqotlararo geterogenlik $I^2=50\%$ bo'lgan. Bu natija modifikatsiyalangan yuzalar foydasiga statistik farq mavjudligini ko'rsatadi. Biroq mazkur natijani odamlarda implant muvaffaqiyati 7,29 foizga oshgan deb talqin qilish noto'g'ri, chunki tahlilga kiritilgan tadqiqotlarning katta qismi klinik bo'lmagan modellarga asoslangan.

4. Hidrofil yuzalar va bioaktiv qoplamalarning roli

Gidrofil implant yuzalari qon va boshqa biologik suyuqliklar bilan yaxshi namlanish xususiyatiga ega. Bu xususiyat yuzada oqsillar adsorbsiyasi va dastlabki biologik jarayonlarning kechishiga ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shu sababli gidrofil yuzalar implantning dastlabki bitish bosqichini yaxshilashga qaratilgan zamonaviy yondashuvlardan biri hisoblanadi.

Biroq gidrofillikning o'zi implantning barcha klinik natijalarini yaxshilashini kafolatlamaydi. 2025-yilda e'lon qilingan tizimli sharh va meta-tahlilda 15 ta tadqiqot, 596 nafar bemor va 1256 ta implant ma'lumotlari tahlil qilingan. Implantlarning omon qolishi bo'yicha guruhlar orasidagi farq statistik jihatdan ahamiyatli bo'lmagan ($p = 0,99$); marginal suyak yo'qotilishi bo'yicha ham ahamiyatli farq aniqlanmagan ($p = 0,86$). Uch oylik kuzatuvda implant barqarorligi ko'rsatkichi bo'yicha bioaktiv yuzalar foydasiga statistik farq qayd etilgan ($p = 0,04$).

Bu natijalar dastlabki bitish bosqichida ayrim afzalliklar bo'lishi mumkinligini, ammo uzoq muddatli klinik ustunlik masalasi to'liq hal etilmaganini ko'rsatadi.

Bioaktiv qoplamalar orasida gidroksiapatit va kalsiy-fosfat birikmalari alohida ahamiyatga ega. Gidroksiapatit suyakning mineral tarkibiga o'xshash bo'lib, osteokonduktiv xususiyatga ega.

Osteokonduktivlik material yuzasi bo'ylab suyak to'qimasining o'sishi uchun sharoit yaratish qobiliyatini anglatadi. Biroq qoplamaning mustahkamligi, qalinligi, kristallik darajasi va eruvchanligi uning biologik natijalariga ta'sir ko'rsatadi.

Kollagen asosidagi qoplamalar ham suyakning organik matriksiga taqlid qilish orqali hujayralarning birikishini qo'llab-quvvatlash maqsadida o'rganilmoqda. Bundan tashqari, suyak morfogenetik oqsili-2 (BMP-2) kabi o'sish omillarini qo'llash suyak hosil bo'lishi bilan bog'liq biologik jarayonlarni rag'batlantirishi mumkin. Ushbu yondashuvlar istiqbolli bo'lsa-da, ularning dozalari, xavfsizligi va uzoq muddatli klinik samaradorligini alohida baholash talab etiladi.

5. Titan va sirkoniy dioksid implantlarining klinik samaradorligi: statistik tahlil

Biomateriallarning klinik samaradorligini baholashda implantlarning omon qolish darajasi, marginal suyak yo'qotilishi, periimplant to'qimalarining holati va implantning funksional barqarorligi muhim ko'rsatkichlar hisoblanadi.

Omon qolish darajasi implant og'iz bo'shlig'ida saqlanib qolganini bildiradi, ammo bu uning barcha muvaffaqiyat mezonlariga javob berishini anglatmaydi.

Birinchi tadqiqotda kuzatuv ma'lumotlari yetishmasligi hisobga olingan sezgirlik tahlilida 10 yillik omon qolish darajasi 93,2% ni tashkil etgan. Bu statistik natijalar uzoq muddatli kuzatuvda implantlarning yuqori omon qolish ko'rsatkichlariga ega bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi. Shunga qaramay, turli materiallarning natijalarini bevosita taqqoslashda tadqiqot metodologiyasi, implant dizayni, bemorlarning klinik holati va kuzatuv muddati hisobga olinishi lozim.

Sirkoniy dioksidning estetik afzalliklari, xususan, yumshoq to'qimalar yupqa bo'lgan oldingi tishlar sohasida muhim bo'lishi mumkin. Biroq titan implantlari uzoq muddatli klinik dalillar va keng qo'llash tajribasi bo'yicha muhim ustunlikka ega. Shu sababli biomaterialni tanlashda faqat omon qolish ko'rsatkichiga emas, balki estetik talablar, suyak hajmi, yumshoq to'qimalarning holati va implant tizimining klinik dalillariga ham e'tibor berish kerak.

6. Osseointegratsiyaga ta'sir qiluvchi biologik va klinik omillar

Implant yuzasining zamonaviy modifikatsiyasi osseointegratsiyani yaxshilash imkoniyatiga ega bo'lsa-da, klinik natija ko'plab boshqa omillarga ham bog'liq.

- Suyakning sifati va hajmi. Suyak zichligi va implant o'rnatiladigan sohadagi anatomik sharoit birlamchi barqarorlikka ta'sir qiladi.

- Bemorning umumiy salomatligi. Nazoratsiz qandli diabet, chekish va ayrim tizimli kasalliklar bitish jarayoniga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkin.

- Jarrohlik texnikasi. Osteotomiya jarayonida suyakning ortiqcha qizib ketishi va to'qimalarning shikastlanishi regeneratsiyani sekinlashtirishi mumkin.

- Birlamchi mexanik barqarorlik. Implantning o'rnatilgandan keyingi barqarorligi va keyingi biologik bitish jarayoni bir-birini to'ldiradi, ammo ular bir xil tushuncha emas.

- Og'iz gigiyenasi va parvarish. Bakterial biofilm to'planishi periimplant yallig'lanish xavfini oshirishi mumkin.

Ushbu omillarni nazorat qilish biomaterialning biologik afzalliklarini klinik natijaga aylantirish uchun muhimdir. Shuning uchun osseointegratsiyani yaxshilashga qaratilgan yondashuvlar implant yuzasini takomillashtirish bilangina cheklanmasdan, bemorni to'g'ri tanlash, jarrohlik protokoliga rioya qilish va uzoq muddatli nazoratni ham qamrab olishi kerak.

7. Zamonaviy biomateriallarning istiqbollari va mavjud muammolar

Hozirgi tadqiqotlarning asosiy yo'nalishlaridan biri implant yuzasining fizik-kimyoviy xususiyatlarini biologik faol molekulalar bilan birlashtirishdir. Bunda biomimetik qoplamalar, o'sish omillari, nanostrukturaviy yuzalar va nazorat ostida biologik modda ajratib chiqaruvchi tizimlar o'rganilmoqda. Ushbu texnologiyalar suyak regeneratsiyasini tezlashtirish va implantning dastlabki barqarorligini yaxshilash imkoniyatiga ega bo'lishi mumkin.

XULOSA

Dental implantologiyada biomateriallar evolyutsiyasi implantlarning biologik moslashuvchanligini oshirish, suyak to'qimasi bilan mustahkam integratsiyasini ta'minlash va uzoq muddatli klinik samaradorligini yaxshilashga qaratilgan muhim ilmiy yo'nalish hisoblanadi.

Ilmiy adabiyotlar tahlili asosida quyidagi xulosalarga kelindi.

1. Titan va uning qotishmalari yuqori mexanik mustahkamligi, korroziyaga chidamliligi va biologik moslashuvchanligi tufayli dental implantologiyada asosiy biomateriallar sifatida o'z ahamiyatini saqlab qolmoqda. Sirkoniy dioksid esa estetik xususiyatlari bilan ajralib turuvchi muqobil material hisoblanadi, biroq uning uzoq muddatli klinik samaradorligini titan bilan taqqoslash uchun qo'shimcha tadqiqotlar zarur.

2. Implant yuzasini modifikatsiyalash osseointegratsiyani yaxshilashning muhim zamonaviy usullaridan biridir. Qum bilan ishlov berish, kislota bilan ishlov berish, anodlash va nanostrukturaviy modifikatsiyalar implant yuzasining fizik-kimyoviy xususiyatlarini o'zgartirib, suyak hujayralarining birikishi va suyak-implant kontaktiga ijobiy ta'sir ko'rsatishi mumkin.

3. Bioaktiv qoplamalar, jumladan, gidroksiapatit va kalsiy-fosfat birikmalari suyak mineraliga o'xshash tarkibi tufayli osteokonduktiv xususiyatga ega. Kollagen, BMP-2 va biomimetik modifikatsiyalar ham suyak regeneratsiyasini rag'batlantirish uchun istiqbolli yo'nalishlar hisoblanadi. Biroq ularning xavfsizligi va uzoq muddatli klinik samaradorligini tasdiqlash uchun yuqori sifatli klinik tadqiqotlar talab etiladi.

4. Ilmiy statistik ma'lumotlar dental implantlarning uzoq muddatli omon qolish darajasi yuqori bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi. Masalan, Howe va hammualliflarning 2019-yildagi tizimli sharhi va meta-tahlilida implantlarning 10 yillik omon qolish darajasi 96,4% deb baholangan. Shu bilan birga, implantning og'iz bo'shlig'ida saqlanib qolishi uning barcha biologik va estetik mezonlar bo'yicha muvaffaqiyatli ekanini anglatmaydi.

5. Osseointegratsiyaning muvaffaqiyati faqat biomaterialga emas, balki suyakning sifati va hajmi, implantning birlamchi barqarorligi, jarrohlik texnikasi, bemorning umumiy salomatligi va og'iz gigiyenasiga ham bog'liq. Shu sababli implantatsiya natijalarini yaxshilashda biomateriallarni takomillashtirish bilan bir qatorda, bemorga individual yondashuv va muntazam klinik nazorat muhim ahamiyatga ega.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Al Shayeb M. va boshq. Bioactive surface modifications on dental implants: a systematic review and meta-analysis of osseointegration and longevity. Clinical Oral Investigations. 2024;28:592. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05958-y>
2. Smeets R., Stadlinger B., Schwarz F. va boshq. Impact of Dental Implant Surface Modifications on Osseointegration. BioMed Research International. 2016;2016:6285620. <https://doi.org/10.1155/2016/6285620>
3. Howe M.S., Keys W., Richards D. Long-term (10-year) dental implant survival: A systematic review and sensitivity meta-analysis. Journal of Dentistry. 2019;84:9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.03.008>
4. Liu Y. va boshq. Role of implants surface modification in osseointegration: A systematic review. Journal of Biomedical Materials Research Part A. 2020. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31664764/>

5. Kunrath M.F. va boshq. Implant surface modifications and their impact on osseointegration and peri-implant diseases through epigenetic changes: A scoping review. Journal of Periodontal Research. 2024;59(6):1095–1114. <https://doi.org/10.1111/jre.13273>
6. Clinical outcomes of zirconia implants: a systematic review and meta-analysis. Clinical Oral Investigations. 2023. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05401-8>
7. Do Super-hydrophilic Surfaces Affect Implant Primary Stability in the Early Healing Phase of Osseointegration? A Systematic Review with Metanalysis. 2025. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40853239/>
8. Albrektsson T., Brånemark P.I., Hansson H.A., Lindström J. Osseointegrated titanium implants: Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. Acta Orthopaedica Scandinavica. 1981;52(2):155–170. <https://doi.org/10.3109/17453678108991776>