

VAKSINALAR EVOLYUTSIYASI: M-RNK VAKSINALAR VA KELAJAK

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19466309>

Obidova E'zoza

Toshkent davlat tibbiyot universiteti
2-Davolash fakulteti 213-guruh talabasi
Ilmiy rahbar: Abdullayev Ulug'bek

Annotatsiya

Ushbu maqolada zamonaviy vaksina texnologiyalarining evolyutsion rivojlanish bosqichlari, xususan m-RNK platformasiga asoslangan vaksinalarning yaratilishi, ularning molekulyar ishlash mexanizmlari va immunobiologik afzalliklari tahlil qilinadi. An'anaviy jonlantirilgan yoki inaktivatsiyalangan vaksinalardan farqli ravishda, m-RNK vaksinalar antigen kodlovchi matritsali RNK molekulalari orqali hujayralarda translyatsiya jarayonini faollashtirib, tezkor va yuqori spesifik immun javob shakllanishini ta'minlaydi. Ushbu texnologiya yuqori xavfsizlik darajasi, ishlab chiqarishning qisqa sikli va virus variantlariga moslashuvchanligi bilan ajralib turadi.

Maqolada m-RNK vaksinalarning pandemiya sharoitida (COVID-19 misolida) qo'llanilishi, lipid nanozarrachalar yordamida yetkazish (delivery) tizimlarining takomillashuvi hamda ushbu platformaning immunogenlik va barqarorlik bilan bog'liq cheklovlari yoritiladi. Shuningdek, vaksina dizayniga ta'sir qiluvchi molekulyar modifikatsiyalar, m-RNKning strukturaviy barqarorligi, innate immunitet bilan o'zaro ta'sir mexanizmlari va xavfsizlik profilini optimallashtirish bo'yicha ilmiy yondashuvlarga e'tibor qaratiladi.

Kalit so'zlar

m-RNK vaksinalar, vaksina evolyutsiyasi, immunogenlik, lipid nanozarrachalar, antigen ekspressiyasi, adaptiv immunitet, molekulyar vaksina texnologiyalari,

Annotation

This paper examines the evolutionary development of modern vaccine technologies, with particular emphasis on the emergence of mRNA-based vaccines, their molecular mechanisms of action, and their immunobiological advantages. Unlike traditional live-attenuated or inactivated vaccines, mRNA vaccines utilize messenger RNA molecules encoding specific antigens to activate intracellular translation processes, thereby inducing a rapid and highly specific immune

response. This platform is distinguished by its high safety profile, short production cycle, and adaptability to emerging viral variants.

The paper discusses the application of mRNA vaccines in pandemic settings (using COVID-19 as an example), advancements in delivery systems based on lipid nanoparticles, as well as limitations related to immunogenicity and molecular stability. Attention is also given to molecular modifications that influence vaccine design, structural stabilization strategies for mRNA, interactions with innate immune pathways, and scientific approaches aimed at optimizing the overall safety profile.

Keywords

mRNA vaccines, vaccine evolution, immunogenicity, lipid nanoparticles, antigen expression, adaptive immunity, molecular vaccine technologies,

Аннотация

В данной статье рассматривается эволюционное развитие современных вакцинных технологий, с особым акцентом на появление мРНК-вакцин, их молекулярные механизмы действия и иммунобиологические преимущества. В отличие от традиционных живых аттенуированных или инактивированных вакцин, мРНК-вакцины используют матричную РНК, кодирующую специфические антигены, для активации внутриклеточного процесса трансляции, что обеспечивает быстрое и высокоспецифичное формирование иммунного ответа. Эта платформа отличается высоким уровнем безопасности, коротким циклом производства и адаптивностью к новым вариантам вирусов.

В статье освещается применение мРНК-вакцин в условиях пандемии (на примере COVID-19), совершенствование систем доставки на основе липидных наночастиц, а также ограничения, связанные с иммуногенностью и молекулярной стабильностью. Особое внимание уделяется молекулярным модификациям, влияющим на разработку вакцин, стратегиям стабилизации структуры мРНК, взаимодействию с механизмами врождённого иммунитета и научным подходам к оптимизации профиля безопасности.

Ключевые слова:

мРНК-вакцины, эволюция вакцин, иммуногенность, липидные наночастицы, экспрессия антигенов, адаптивный иммунитет, молекулярные вакцинные технологии,

Vaksinalar rivojlanishi va tarixiy evolyutsiyasi

Vaksinalarning evolyutsion yo'li immunoprofilaktika strategiyalarining izchil takomillashuvini aks ettiradi, sodda variolyatsiya usullaridan tortib murakkab molekulyar platformalargacha rivojlangan. An'anaviy vaksinalar, jumladan jonlantirilgan attenuatsiyalangan va inaktivatsiyalangan preparatlar, odatda patogenlardan olingan antigenlarni nazorat ostida taqdim etish orqali adaptiv immun javobni shakllantiradi. Biroq, ushbu klassik yondashuvlar uzoq ishlab chiqarish sikllari, sovutish zanjiriga bog'liqlik va tez mutatsiyaga uchraydigan patogenlarga moslashishdagi cheklovlar bilan chegaralangan bo'lib, yangi avlod vaksinalari texnologiyalarining zarurligini ko'rsatadi.

m-RNK vaksinalar immunologik injeneriya sohasida inqilobiy yondashuvni taqdim etadi, u sintetik nuklein kislotalar orqali antigenik oqsillarni to'g'ridan-to'g'ri mezbon hujayralarida kodlaydi. Hujayra ichiga yetkazilgach, m-RNK molekulalari translyatsiya jarayonlariga kirishib, kuchli gümoral va hujayrali immun javoblarni hosil qiladi, shu bilan birga jonli patogenlardan foydalanish zaruratini yo'q qiladi. Bu yondashuv an'anaviy vaksinalar bilan bog'liq biosafety muammolarini bartaraf etadi va tezkor dizayn hamda keng ko'lamli ishlab chiqarishni ta'minlaydi, bu ayniqsa COVID-19 pandemiyasi kabi favqulodda infeksiyon vaziyatlarda muhimdir.

Lipid nanopartikullar (LNP) yordamida m-RNK vaksinalarni samarali yetkazish texnologiyasi ham muhim innovatsiya hisoblanadi. LNP tizimi m-RNKni hujayra ichida barqaror saqlaydi, uning degradasiyasini oldini oladi va antigen ekspressiyasini optimallashtiradi. Shu bilan birga, LNPning kimyoviy va fizik xususiyatlari vaksinaning immunogenligini va xavfsizlik profilini sezilarli darajada yaxshilashga xizmat qiladi.(1,4,7)

Kelajak istiqbollari doirasida universal gripp vaksinalari, shaxsiylashtirilgan m-RNK vaksinalar orqali saraton immunoterapiyasi, bakterial infeksiyalarni nazorat qilishga qaratilgan genetik platformalar va global epidemiologik xavflarga tez moslashuvchi modulli m-RNK texnologiyalari rivojlanishi kutilmoqda. Ushbu rivojlanishlar mikrobiologiya, virusologiya va immunologiya sohalarining kesishgan nuqtasida innovatsion vaksina tizimlarining ilmiy-amaliy ahamiyatini yanada oshiradi.(1,3)

m-RNK vaksinalar va ularning afzalliklari

m-RNK vaksinalar immunologiyada inqilobiy yondashuvni ifodalaydi, chunki ular sintetik matritsali RNK orqali mezbon hujayralarda antigen ishlab chiqarishni faollashtiradi. Ushbu jarayon gümoral va hujayrali immun javoblarni kuchaytiradi, shu bilan birga jonli patogenlardan foydalanish zaruratini bartaraf qiladi. Natijada m-RNK vaksinalar yuqori xavfsizlik profili, tezkor himoya samaradorligi va yuqori

adaptiv immun javobni ta'minlaydi. Bu platforma ayniqsa tez mutatsiyaga uchraydigan viruslar va yangi pandemiyalar sharoitida muhim hisoblanadi.

Bundan tashqari, m-RNK vaksinalar tezkor ishlab chiqarish imkoniyatiga ega bo'lib, ularning sintetik dizayni va molekulyar modifikatsiyalari antigen ekspressiyasini optimallashtirishga xizmat qiladi. Shu orqali immun javob barqaror va uzoq muddatli bo'lib, turli yosh guruhlari va immuniteti zaif insonlarda ham samarali himoya ta'minlanadi. Ushbu xususiyatlar ularni an'anaviy vaksinalarga nisbatan tezkor va samarali vosita sifatida ajratib turadi.

Lipid nanopartikullar (LNP) va boshqa ilg'or yetkazish tizimlari m-RNKni hujayralarda barqaror saqlash va uning degradasiyasini oldini olish imkonini beradi. Shu bilan birga, LNP tizimi antigen ekspressiyasini kuchaytiradi va vaksining immunogenligini oshiradi, bu esa xavfsizlik profilini yaxshilash va immun javobni maksimal darajada shakllantirishda muhim ahamiyatga ega. Ularning kimyoviy va fizik xususiyatlari platformaning samaradorligini sezilarli darajada oshiradi.

m-RNK vaksinalarning moslashuvchanligi ularni turli virus variantlariga tezkor javob beruvchi vosita sifatida taqdim etadi. Ular global sog'liqni saqlash tizimida innovatsion yechim bo'lib, yangi infeksiyalarni nazorat qilish va pandemiyalarga tezkor javob berishda markaziy rol o'ynaydi. Shu bilan birga, ularning ishlab chiqarish jarayoni modulli va kengaytiriladigan bo'lib, ilmiy va texnologik yondashuvlarni birlashtiradi.(1,5,6,7,10)

Kelajak istiqbollari va yangi texnologiyalar

Kelajak istiqbollari doirasida universal vaksinalar, shaxsiylashtirilgan immunoterapiya va bakterial infeksiyalarni nazorat qiluvchi genetik platformalar rivojlanishi kutilmoqda. Bu yondashuvlar vaksinalarning spektrini kengaytirish, viruslar va bakteriyalar bilan kurashda moslashuvchanlikni ta'minlashga xizmat qiladi. Shu bilan birga, yangi avlod vaksinalari global pandemiyalarni oldini olish va tezkor javob berish imkoniyatlarini sezilarli darajada oshiradi.

Yangi texnologiyalar ishlab chiqarish jarayonini optimallashtirish, immunogenlikni oshirish va xavfsizlikni maksimal darajada ta'minlashga qaratilgan. Molekulyar dizayn, modulli RNK platformalari va ilg'or yetkazish tizimlari vaksinalarning samaradorligini oshirish va turli patogenlar bilan kurashishda universal yondashuvni yaratishga xizmat qiladi. Shu bilan birga, ular pandemiya sharoitida tezkor javob berish uchun kerakli resurs va logistika talablarini kamaytiradi.(2,4,5)

Ilmiy va amaliy tadqiqotlar kelgusida shaxsiylashtirilgan vaksinalarni yaratish, ularni saraton, autoimmun kasalliklar hamda yuqumli infeksiyalarni davolashda qo'llash imkoniyatlarini o'rganadi. Shu bilan birga, yangi

texnologiyalar vaksinani ishlab chiqarish muddatini qisqartirish, ommaviy immunizatsiya jarayonini optimallashtirish va immun javobning barqarorligini ta'minlash imkonini beradi. Bu ilmiy-amaliy jihatdan vaktsinalarni global sog'liqni saqlash tizimiga integratsiya qilishni osonlashtiradi.

Kelajakda m-RNK va boshqa genetik platformalar global sog'liqni saqlash tizimining barqarorligini mustahkamlashda, yangi avlod vaktsinalarini yaratishda va infeksiyon kasalliklarga tezkor javob berishda markaziy rol o'ynaydi.(7,8,9)

Xulosa

So'nggi yillarda vaktsinalar texnologiyasi sezilarli darajada rivojlandi, an'anaviy jonlantirilgan va inaktivatsiyalangan vaktsinalardan tortib, m-RNK va boshqa genetik platformalargacha. m-RNK vaktsinalar molekulyar darajada samarali immun javob hosil qilish, tezkor ishlab chiqarish va yuqori xavfsizlik profili bilan ajralib turadi. Ushbu texnologiya pandemiya sharoitida innovatsion yechim sifatida o'zining samardorligini namoyon etdi.

Kelajak istiqbollari vaktsinalarning universal va shaxsiylashtirilgan shakllarini, shuningdek yangi genetik platformalarni rivojlantirishga qaratilgan. Bu yondashuvlar global sog'liqni saqlash tizimida infeksiyon kasalliklarni nazorat qilish, yangi virus variantlariga tezkor javob berish va immunizatsiya jarayonlarini optimallashtirish imkonini beradi.

Ilmiy va amaliy tadqiqotlar natijasida m-RNK va boshqa ilg'or vaktsinalar nafaqat infeksiyon kasalliklar, balki saraton va autoimmun kasalliklarni davolashda ham qo'llanishi mumkin bo'lgan samarali vosita sifatida rivojlanadi. Shu bilan birga, ular global sog'liqni saqlash xavfsizligini mustahkamlash va yangi pandemiyalarga tayyor turish strategiyasining markaziy elementi bo'ladi.

Xulosa qilib aytganda, m-RNK vaktsinalar va yangi texnologiyalar vaktsinalar sohasida ilmiy-inqilobiy o'zgarishlarni ifodalaydi, insoniyatni yuqumli kasalliklar va global sog'liq xavflaridan himoya qilishda kelajakda asosiy rol o'ynaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Parvin, N.; Joo, S.W.; Mandal, T.K. (2024). "Enhancing Vaccine Efficacy and Stability: A Review of the Utilization of Nanoparticles in mRNA Vaccines." *Biomolecules*, 14(8):1036. <https://doi.org/10.3390/biom14081036>

2. de Assis Burle-Caldas, G., Sergio, S.A.R., Bráz, A.F. et al. (2025). "The immunogenic potential of an optimized mRNA lipid nanoparticle formulation carrying sequences from virus and protozoan antigens."

3. Wang, Jialiang; Ding, Yaopeng; Chong, Kellie; Cui, Meng; Cao, Zeyu; Tang, Chenjue; Tian, Zhen; Hu, Yuping; Zhao, Yu; Jiang, Shaoyi. (2024). "Recent

Advances in Lipid Nanoparticles and Their Safety Concerns for mRNA Delivery.”
Vaccines, 12(10):1148. <https://doi.org/10.3390/vaccines12101148>

4. Turankar, C.C.; Kubde, J.A.; Hatwar, P.R.; Mahure, L.D. (2025).
“Nano-delivery Systems for mRNA: A comprehensive review of lipid-based and
polymer-based approaches.” GSC Advanced Research and Reviews, 23(01),
062-071. <https://doi.org/10.30574/gscarr.2025.23.1.0107>

5. Sahu, I. et al. (2023). “Lipid nanoparticles (LNPs) for in vivo RNA delivery
and their breakthrough technology for future applications.” (ScienceDirect review)

6. “A review of technological developments in lipid nanoparticle application
for mRNA vaccination.” (2023) Hum Vaccin Immunother; 19(2):2256040. PMCID:
PMC10503441. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10503441/>

7. “A Comprehensive Review of mRNA Vaccines.” (2023) –

8. “Advances in lipid nanoparticle mRNA therapeutics beyond COVID-19
vaccines.” (2025)

9. Nature Reviews Materials (2021). “Lasting impact of lipid nanoparticles.”
Nat Rev Mater 6, 1071. DOI: 10.1038/s41578-021-00398-6