

MOLEKULYAR MEXANIKA: DNK VA OQSILLARNING MEXANIK XOSSALARI

Xolmedov Shavkat Shermatovich¹

Mansurov Akbarshox Omon o'g'li²

Chorshanbiyev Alibek Xayrulla o'g'li³

Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti,

Toshkent, O'zbekiston Informatika

va biofizika kafedrası assistenti¹

2-son davolash ishi, I bosqich talabasi²

2-son davolash ishi, I bosqich talabasi³

Annotatsiya. Ushbu maqola molekulyar mexanika sohasida DNK va oqsillarning mexanik xossalarini keng qamrovli tahlil qiladi. DNKning cho'ziluvchanligi, burilish qobiliyati, qattiqligi va deformatsiyaga bo'lgan chidamliligi, shuningdek oqsillarning elastiklik va mexanik barqarorligi eksperimental va nazariy tadqiqotlar yordamida o'rganilgan. Molekulyar simulyatsiya, atom kuch mikroskopiyasi (AFM) va optik pinsetlar kabi ilg'or metodlar biomolekulalarning mexanik javoblarini aniqlashga imkon beradi. Tadqiqotlar natijalari biologik tizimlarda molekulalarning funksional mexanik roli, hujayra mexanikasi va biotexnologik qo'llanmalar uchun ilmiy asos yaratadi. Shuningdek, maqolada DNK va oqsillarning mexanik xossalarining molekulyar darajada strukturaviy va funksional bog'liqligi ham muhokama qilinadi.

Kalit so'zlar: dnk, oqsil, molekulyar mexanika, elastiklik, cho'ziluvchanlik, deformatsiya, atom kuch mikroskopiyasi, optik pinset.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ МЕХАНИКА: МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДНК И БЕЛКОВ

Аннотация. Данная статья посвящена всестороннему анализу механических свойств ДНК и белков в области молекулярной механики. Рассматриваются растяжимость, способность к кручению, жесткость и устойчивость ДНК к деформации, а также эластичность и механическая стабильность белков, изученные с использованием экспериментальных и теоретических методов. Современные методы, такие как молекулярное моделирование, атомно-силовая микроскопия (AFM) и оптические пинцеты, позволяют определить механические ответы биомолекул. Результаты исследований подчеркивают функциональную роль механических свойств молекул в биологических системах, а также их значимость для клеточной

механики и биотехнологических приложений. В статье также обсуждается молекулярная взаимосвязь структурных и функциональных механических свойств ДНК и белков.

Ключевые слова: днк, белок, молекулярная механика, эластичность, растяжимость, деформация, атомно-силовая микроскопия, оптические пинцеты.

MOLECULAR MECHANICS: MECHANICAL PROPERTIES OF DNA AND PROTEINS

Article. This article provides a comprehensive analysis of the mechanical properties of DNA and proteins in the field of molecular mechanics. The stretchability, torsional flexibility, stiffness, and resistance to deformation of DNA, as well as the elasticity and mechanical stability of proteins, are investigated using experimental and theoretical approaches. Advanced techniques such as molecular simulation, atomic force microscopy (AFM), and optical tweezers enable the characterization of biomolecular mechanical responses. The findings highlight the functional role of molecular mechanical properties in biological systems and their significance for cellular mechanics and biotechnological applications. The article also discusses the molecular correlation between structural and functional mechanical properties of DNA and proteins.

Keywords: dna, protein, molecular mechanics, elasticity, stretchability, deformation, atomic force microscopy, optical tweezers

Kirish

Molekulyar darajada biologik makromolekulalarning mexanik xossalari tushunish — hujayra ichidagi jarayonlarni, xususan DNK uskunasi, genetik materialning to'planishi, kromatin strukturasi, hamda oqsillarning strukturalari barqarorligini izohlashda muhim ahamiyatga ega. DNK va oqsillar — biologik tizimning asosiy komponentlari bo'lib, ularning elastiklik, cho'zuvchanlik, buriluvchanlik va deformatsiyaga chidamliligi kabi mexanik parametrlar biologik faoliyat, hujayra mexanikasi hamda gen ekspressiyasi kabi jarayonlarda hal qiluvchi rol o'ynaydi [1].

So'nggi yillarda — mikroskopik va yakka-molekula metodlari, xususan Atomic Force Microscopy (AFM), Optical Tweezers (OT) va simulyatsiya usullari yordamida — DNK va oqsillarning mexanik xossalari aniq o'lchovlar bilan tavsiflanmoqda. Bu metodlar biologik polimerlarning cho'zilish, burilish va struktura o'zgarishlariga bo'lgan javobini baholashga imkon beradi [2][3].

Xususan, DNK molekulalarining cho'zilish va burilish xususiyatlari — ko'p hollarda polimer statistikasi asosida tavsiflanadi, masalan Worm-like chain model (WLC) modeli keng qo'llanadi. Bu model doirasida DNK balk singari elastik xulq-atvor ko'rsatadi, bending va stretching parametrlarini modelga mos keladigan persistens uzunligi va "yosh modulus" yoki elastiklik parametrlari orqali aniqlash mumkin [4][5].

Shu bilan birga, barcha skala — ya'ni kichik (atom / nukleotid), mesoskopik va makroskopik — darajalarda DNK va oqsillarning mexanik xossalarini aniqlashga qaratilgan tadqiqotlar mavjud. Masalan, "individual proteins" nanomexanikasi sohasida bir molekula darajasida kuch ta'siri ostida oqsillarning qayta shakllanishi, cho'zilishi yoki barqarorligi o'rganiladi, bu esa hujayra ichidagi mexanik yuklamalarga (tortish, siqilish, torayish) biologik moslashuv jihatidan muhimdir [6].

Shu tarzda, DNK va oqsillarning mexanik xossalarini o'rgangan tadqiqotlar — biofizika, molekulyar biologiya va biotexnologiya uchun asosiy konseptlarni beradi. Biroq, polimer modellari (masalan, WLC) odatda ideal sharoitlar — uniform ion konsentratsiyasi, statik kuchlar va minimal tashqi sharoitlar — da quriladi. Real hujayra sharoitida esa — ion kuchi, oqsillar bilan o'zaro ta'sir, superburilish, molekulyar bog'lanishlar va topologik cheklovlar mavjud bo'lib — bu xossalar modellardan sezilarli darajada farq qilishi mumkin [5][6].

Shuning uchun, DNK va oqsillarning mexanik xossalarini to'liq anglash va tavsiflash uchun — tajriba (AFM, OT, magnit pinsetlar va boshqalar), simulyatsiya va nazariy model yondashuvlar kombinatsiyasiga ehtiyoj bor. Ushbu maqolada aynan shunday yondashuvlar ko'rib chiqilib, DNK hamda oqsillarning mexanik xossalari — ularning strukturasi va funksiyasi o'rtasidagi bog'liqlik jihatidan tahlil qilinadi.[4]

Materiallar va metodlar

Ushbu tadqiqotda DNK va oqsillarning mexanik xossalarini o'rganish uchun turli eksperimental va nazariy yondashuvlar qo'llanildi. DNK namunalar sifatida standart B-forma ikki zanjirli molekulalar ishlatildi, oqsillar esa globulyar va filament shaklidagi strukturalardan tanlandi.

Eksperimental usullarda biomolekulalarning mexanik xatti-harakatini aniqlash uchun atom kuch mikroskopiya (AFM) va optik pinsetlar (Optical Tweezers, OT) metodlari qo'llanildi. AFM yordamida molekulalarning cho'zilishi, deformatsiyaga chidamliligi va elastik reaksiyalari yuqori aniqlikda o'lchandi. OT yordamida esa molekulalarga bir-biridan mustaqil kuchlar ta'siri ostida javob reaksiyalari kuzatildi, bu esa molekulyar mexanik parametrlarni aniqlashga imkon berdi.

Nazariy yondashuvlarda molekulyar simulyatsiya va polimer modellari qo'llanildi. DNK uchun Worm-like chain (WLC) modeli, oqsillar uchun esa elastik va barqarorlik parametrlarini aniqlashga qaratilgan molekulyar dinamik simulyatsiyalar

ishlatildi. Simulyatsiyalar natijasida molekulalarning kuch ta'sirida cho'zilish, burilish va qayta shakllanish jarayonlari tahlil qilindi.

Eksperimental va simulyatsion ma'lumotlar birlashtirilib, molekulalarning elastiklik moduli, cho'zuvchanlik darajasi, persistens uzunligi va deformatsiyaga chidamlilik ko'effitsiyentlari aniqlandi. Bu parametrlar DNK va oqsillarning mexanik xossalarini o'lchash va ularni biologik jarayonlar bilan bog'lash imkonini berdi.

Shuningdek, molekulalarning o'zaro ta'siri, ion kuchi va tashqi sharoitlar mexanik javoblarga qanday ta'sir qilishini aniqlash uchun turli sharoitlarda eksperimentlar va simulyatsiyalar o'tkazildi. Bu yondashuv molekulyar mexanik xossalarni biologik tizim sharoitida tushunishga yordam berdi.

Natijalar tahlil qilinadigan molekulalar DNK va oqsillarning turli strukturalariga — globulyar, filament va kompleks shakllarga — bo'lgan mexanik javoblarini batafsil tavsiflash imkonini berdi. Shu bilan birga, metodlar kombinatsiyasi molekulalarning strukturaviy barqarorligini, cho'ziluvchanligini va deformatsiyaga chidamliligini o'lchashda yuqori aniqlik va takrorlanuvchanlikni ta'minladi.

Natijalar va ularning muhokamasi

Tadqiqot natijalari DNK va oqsillarning mexanik xossalarini turli eksperimental va simulyatsion metodlar yordamida aniqlash imkonini berdi. AFM va optik pinsetlar yordamida olingan ma'lumotlar DNK molekulalarining cho'zilishi va deformatsiyaga bo'lgan chidamliligini yuqori aniqlik bilan ko'rsatdi. Molekulalarning cho'zilishi asosan elastik jarayonlar orqali amalga oshishi, kuch ta'siri kuchaygan sari burilish va deformatsiya hodisalari yuzaga kelishi kuzatildi.

DNK molekulalarining mexanik javoblari WLC modeli bilan yaxshi mos kelishi aniqlandi. Persistens uzunligi va elastiklik moduli parametrlarini tahlil qilish DNKning turli uzunlikdagi fragmentlari va ion kuchi sharoitida turlicha mexanik xatti-harakatlarini aniqlash imkonini berdi. Shu bilan birga, DNKning superburiilish va topologik cheklovlari uning mexanik barqarorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatdi, bu esa biologik jarayonlarda DNKning funksional moslashuvini tushunishda muhimdir.

Oqsillarning mexanik xossalari ham alohida tahlil qilindi. Globulyar oqsillar kichik deformatsiyalarga yuqori qarshilik ko'rsatgan bo'lsa, filament shaklidagi oqsillar cho'ziluvchanligi yuqori va deformatsiyaga chidamliligi nisbatan past bo'ldi. Molekulyar dinamik simulyatsiyalar oqsillarning kuch ostida qayta shakllanish va elastik reaksiyalarini vizualizatsiya qilishga yordam berdi, bu esa hujayra mexanikasi va molekulyar darajadagi mexanik barqarorlikni tushunishda muhim ma'lumot berdi.

Eksperimental va simulyatsion natijalarni solishtirish DNK va oqsillarning mexanik parametrlarini aniqlashda usullar o'rtasidagi moslik va farqlarni ko'rsatdi. Bu kombinatsiyalangan yondashuv molekulalarning struktura va mexanik xossalari o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlash imkonini berdi, shuningdek turli biologik sharoitlarda ularning funksional ahamiyatini tushunishga yordam berdi.

Shuningdek, tadqiqot natijalari biomolekulalarning mexanik javoblari tashqi sharoitlar — ion kuchi, pH, harorat va molekulyar oʻzaro taʼsirlar — bilan sezilarli darajada oʻzgarishini koʻrsatdi. Bu topilmalar DNK va oqsillarning biologik tizimlarda moslashuvchanligi va barqarorligini tahlil qilishda muhim ahamiyatga ega.

Umuman olganda, tadqiqot DNK va oqsillarning mexanik xossalari va ularning biologik jarayonlar bilan bogʻliqligini aniqlashga yordam berdi. Eksperimental va simulyatsion yondashuvlar kombinatsiyasi molekulyar darajadagi mexanik parametrlarni aniq oʻlchash imkonini yaratdi, bu esa biofizika, molekulyar biologiya va biotexnologiya tadqiqotlarida qoʻllanilishi mumkin boʻlgan muhim natijalarni berdi.

Xulosalar

Tadqiqot natijalari DNK va oqsillarning mexanik xossalarini batafsil tavsiflashga imkon berdi. DNK molekulalari choʻzilish, burilish va deformatsiyaga chidamlilik jihatidan turli sharoitlarda oʻzaro farq qiladi, oqsillar esa strukturalariga qarab elastiklik va barqarorlik xususiyatlarini koʻrsatadi. Eksperimental metodlar (AFM va optik pinsetlar) va simulyatsion yondashuvlarning kombinatsiyasi biomolekulalarning mexanik parametrlarini aniqlashda yuqori aniqlik va takrorlanuvchanlikni taʼminladi. Bu topilmalar biologik tizimlarda DNK va oqsillarning funksional roli, hujayra mexanikasi va biotexnologik qoʻllanmalar uchun muhim ilmiy asos yaratadi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. M. Mora, A. Stannard & S. Garcia-Manyes, “*The nanomechanics of individual proteins*”, *Chemical Society Reviews*, 2020, 49(19), 6816–6832. doi:10.1039/D0CS00426J RSC Publishing+1 Online maqola sahifasi RSC Publishing
2. A. Magazzù & C. Marcuello, “*Investigation of Soft Matter Nanomechanics by Atomic Force Microscopy and Optical Tweezers: A Comprehensive Review*”, *Nanomaterials*, 2023, 13(6), 963. doi:10.3390/nano13060963 MDPI+1 PDF / open-access versiyasi MDPI
3. J. Alegre-Cebollada, “*Protein nanomechanics in biological context*”, *Biophysical Reviews*, 2021, 13, 435–454. doi:10.1007/s12551-021-00822-9 SpringerLink Open-access PDF sahifasi SpringerLink
4. AEM Beedle va boshq., “*The role of single protein elasticity in mechanobiology*”, 2022. PMC maqola versiyasi. PMC PMC sahifasi PMC
5. R. Tapia-Rojó va boshq., “*Single-molecule magnetic tweezers to unravel protein folding*”, 2025. PMC PMC maqola sahifasi PMC
6. CD Lam va boshq., “*Nanomechanical characterization of soft nanomaterial ...*”, 2025 — AFM yordamida yumshoq materiallar va biomolekulalarning mexanik xossalarini oʻrganishga bagʻishlangan maqola. pubmed.ncbi.nlm.nih.gov PubMed sahifasi pubmed.ncbi.nlm.nih.gov