

**ONKOLOGIK ASORATLARLARNING RIVOJLANISHIDA ENTROPIYA
MEXANIZMLARINING O'RNI****M.M. Axmadjonova**

Toshkent Davlat Tibbiyot Universiteti, Toshkent, O'zbekiston
2-son davolash ishi, I bosqich talabasi.

Y.K. Sattorov

Informatika va biofizika kafedrası, assistenti

<https://doi.org/10.5281/zenodo.17291807>

Annotatsiya. Ushbu maqolada onkologik kasalliklarning rivojlanishi va ularning asoratlari entropiya mexanizmlari orqali tushuntirish imkoniyatlari ko'rib chiqildi. Biofizik yondashuv asosida hujayra va to'qimalarda yuzaga keladigan termodinamik nomutanosibliklar, energiya almashinuvining buzilishi hamda axborot oqimlaridagi yo'qotishlar tahlil qilindi.

Tadqiqot natijalari onkologik jarayonlarni yanada chuqurroq tushunishga va yangi davolash strategiyalarini ishlab chiqishga asos bo'lishi mumkin.

Kalit so'zlar: Onkologiya, entropiya, biofizika.

**РОЛЬ ЭНТРОПИЙНЫХ МЕХАНИЗМОВ В РАЗВИТИИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ
ОСЛОЖНЕНИЙ**

Аннотация. В данной статье рассматриваются возможности объяснения развития онкологических заболеваний и их осложнений с помощью энтропийных механизмов. На основе биофизического подхода проанализированы термодинамические дисбалансы, нарушения энергетического обмена и потери информационных потоков, происходящие в клетках и тканях. Результаты исследования могут послужить основой для более глубокого понимания онкологических процессов и разработки новых методов лечения.

Ключевые слова: Онкология, энтропия, биофизика.

**THE ROLE OF ENTROPY MECHANISMS IN THE DEVELOPMENT OF
ONCOLOGICAL COMPLICATIONS**

Abstract. This article explores the potential of explaining the development of oncological diseases and their complications through entropic mechanisms. Using a biophysical approach, we analyze thermodynamic imbalances, energy metabolism disturbances, and information flow losses occurring in cells and tissues. The research findings may serve as a basis for a deeper understanding of cancer processes and the development of new treatments.

Keywords: Oncology, entropy, biophysics.

Kirish

Onkologik kasalliklar bugungi kunda global sog'liqni saqlashning eng jiddiy muammolaridan biri bo'lib qolmoqda. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti (JSST) ma'lumotlariga ko'ra, 2020-yilda saraton butun dunyo bo'ylab 10 millionga yaqin o'limga sabab bo'lgan [1]. Shu bilan birga, 2018-yilda xavfli neoplazmalarning 18,1 million yangi holatlari qayd etilgan [1].

Xalqaro saraton tadqiqotlari agentligi (IARC) prognozlariga ko'ra, 2040-yilga kelib yangi holatlar soni 29,9 millionga yetadi, bu 2018-yildagi ko'rsatkichlarga nisbatan taxminan 50-60 foizga o'sishni aks ettiradi [3]. Bu shuni anglatadiki, onkologik kasalliklarning global yuki nafaqat alohida odamlar salomatligiga, balki mamlakatlarning ijtimoiy-iqtisodiy rivojlanishiga ham sezilarli ta'sir ko'rsatgan holda o'sishda davom etadi.

JSSTning ta'kidlashicha, bunday o'sish sur'atlari aholining qarishi, xavf omillarining ko'payishi (chekish, semirish, past jismoniy faollik kabi), shuningdek, profilaktika va erta tashxis qo'yishning yetarli darajada mavjud emasligi bilan izohlanadi [1]. Iqtisodiy oqibatlar ham juda katta: davolanish xarajatlari, mehnat qobiliyatini yo'qotish va hayot sifatining pasayishi milliy sog'liqni saqlash tizimlariga jiddiy bosim o'tkazadi.

Shunday qilib, saraton erta o'limning asosiy sabablaridan biri bo'lib qolmoqda va uning yaqin o'n yilliklardagi o'sishi xalqaro tashkilotlar va milliy sog'liqni saqlash tizimlari darajasida strategik yechimlarni talab qiladi.

Saraton kasalliklari rivojlanishida odatda genetik mutatsiyalar, signal yo'llarining buzilishi, hujayra proliferatsiyasining nazoratsizligi kabi biologik mexanizmlar tilga olinadi.

Ammo so'nggi yillarda ilmiy adabiyotlarda biofizik va termodinamik yondashuvlar, xususan, entropiya konsepsiyasi tobora ko'proq o'rganilmoqda [5; 6]. Entropiya tushunchasi klassik termodinamikada tartibsizlik va energiyaning bir xil taqsimlanish darajasini ifodalasa, biologik tizimlarda u hujayra va organizm ichki muvozanatining barqarorlik darajasi sifatida qaraladi [7; 8].

Sog'lom organizmda gomeostaz jarayonlari entropiyaning ortib ketishini nazorat qilib turadi: energiya almashinuvi muvozanatda saqlanadi, hujayralar o'zini tiklash xususiyatiga ega bo'ladi. Onkologik jarayonlar rivojlanishi esa bu tartibni izdan chiqaradi. Saraton hujayralari o'zining metabolik faoliyatida yuqori darajadagi energiya sarfi, genetik va epigenetik noturg'unlik, axborot oqimlarining buzilishi bilan ajralib turadi [9; 10]. Bu esa hujayra ichida va butun organizm miqyosida entropiyaning oshishiga olib keladi [11; 12].

Onkologik asoratlar — metastaz jarayonlari, immun tizimning izdan chiqishi, organlar faoliyatining izchil buzilishi — entropiyaning oshib borishining amaliy ifodasi sifatida qaralishi mumkin [13]. Entropiya qanchalik yuqori bo'lsa, tizim shunchalik tartibsiz, zaif va boshqaruvchanlik qobiliyatidan mahrum bo'ladi. Shu boisdan, saraton nafaqat lokal hujayra darajasida, balki butun organizmni o'z ichiga oluvchi entropik jarayon sifatida namoyon bo'ladi [14].

Entropiya mexanizmlarini o'rganish onkologik kasalliklarni tushunishda yangi ilmiy ufqlarni ochadi. Bu yondashuv saraton rivojlanishidagi molekulyar jarayonlarni yanada chuqurroq tahlil qilish, kasallikning og'ir oqibatlarini prognozlash va innovatsion davolash strategiyalarini ishlab chiqishda muhim nazariy asos bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Material va metodlar

Ushbu tadqiqotda onkologik kasalliklarning rivojlanish jarayonida entropiya mexanizmlarining tutgan o'rni tahlil qilindi. Tadqiqot nazariy-tahliliy yo'nalishda olib borildi va quyidagi asosiy manbalar va metodologik yondashuvlarga tayandi:

1. Adabiyot manbalari

Tahlil jarayonida xalqaro ilmiy bazalar (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar) hamda Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti (JSST), Xalqaro saraton tadqiqot agentligi (IARC) va boshqa yetakchi ilmiy tashkilotlarning statistik ma'lumotlari o'rganildi. Asosiy e'tibor:

- Onkologik kasalliklarning rivojlanish mexanizmlari;
- Hujayra ichidagi termodinamik va bioenergetik jarayonlar;
- Entropiya nazariyasi va biologik tizimlarda uning qo'llanilishi;
- Onkologik asoratlarning klinik va biokimyoviy ko'rinishlariga qaratildi.

2. Nazariy asoslar

Tadqiqot klassik termodinamika va statistik fizika qonunlariga tayangan holda olib borildi. Entropiya tushunchasi quyidagi darajalarda qo'llanildi:

- Molekulyar daraja – DNK mutatsiyalari, oqsillar strukturasi va hujayra ichki muhitidagi axborot oqimlari izchilligi;
- Hujayra darajasi – metabolizm, energiya almashinuvi (ATP ishlab chiqarilishi va sarfi), oksidlovchi stress va antioksidant tizimlarning buzilishi;
- Tizimli daraja – immun javobning pasayishi, to'qimalararo aloqa mexanizmlarining zaiflashishi, metastaz jarayonlarining tarqalishi.

3. Metodologik yondashuvlar

Biotermodinamik tahlil: Saraton hujayralarining metabolik faoliyati asosida entropiya ishlab chiqilishi va hujayra tizimlarida tartib darajasi hisoblab chiqildi.

Matematik modellashtrish: Entropiya ortishi bilan hujayra proliferatsiyasi va apoptotik jarayonlar orasidagi bog'liqlik matematik modellar orqali ifodalandi.

Tizimli tahlil: Saraton rivojlanishining turli bosqichlarida (boshlang'ich, lokal o'sma, metastaz, terminal bosqich) entropiya ko'rsatkichlarining o'zgarishi solishtirildi.

Statistik usullar: Olingan ma'lumotlar mavjud epidemiologik statistika bilan taqqoslanib, o'zaro korrelyatsion tahlil qilindi.

4. Tadqiqot obyekti va material

Bevosita klinik bemorlar ustida tadqiqot olib borilmagan bo'lib, ishda mavjud ilmiy adabiyotlar, xalqaro statistik hisobotlar va nazariy modellar asos qilib olindi. Shuningdek, Nobel mukofoti sovrindori I. Prigojin tomonidan ishlab chiqilgan dissipativ tizimlar va entropiya o'sishi nazariyasi asosiy metodologik manbalardan biri sifatida qo'llanildi.

5. Metodlar integratsiyasi

Olingan ma'lumotlar biofizik, bioximik, molekulyar biologiya va klinik onkologiya ma'lumotlari bilan uzviy bog'langan holda tahlil qilindi. Natijada onkologik asoratlarning rivojlanishida entropiya mexanizmlarining nazariy modeli shakllantirildi.

Natijalar va ularning muhokamasi.

O'rganilayotgan muammoni hal qilish usullari asosida onkologik kasalliklarni entropiya mexanizmlari asosida o'rganish bir qator ilmiy yondashuvlarni talab qiladi. Ular orasida quyidagilar muhim ahamiyatga ega:

Termodinamik tahlil – hujayra ichida energiya almashinuvi jarayonlarini matematik modellashtrish;

Axborot nazariyasi – hujayra ichidagi signal va axborot uzatish mexanizmlaridagi yo'qotishlarni aniqlash;

Bioenergetik monitoring – mitoxondriyalarning faoliyati va oksidlanish-qaytarilish jarayonlarini o'rganish;

Kompleks davolash strategiyalari – biofizik omillarni hisobga olgan holda saratonni davolash usullarini ishlab chiqish;

Sun'iy intellekt va "big data" tahlillari – saratonning rivojlanishidagi entropiya o'zgarishlarini prognoz qilish.

Xulosalar.

Xulosa qilib aytganda, onkologik asoratlarning rivojlanishini faqat genetik mutatsiyalar orqali emas, balki entropiya mexanizmlari orqali ham izohlash zarur. Biofizik yondashuv kasallikni yanada chuqurroq tushunish imkonini beradi. Entropiya darajasining ortishi hujayralarda muvozanatning buzilishi va patologik jarayonlarning kuchayishiga olib keladi.

Shu bois, kelgusida saratonni profilaktika qilish va davolashda entropiya nazariyasi asosida ishlab chiqilgan yangi strategiyalar ahamiyatli bo'lishi mumkin.

REFERENCES

1. Всемирная организация здравоохранения. Cancer fact sheet [Электронный ресурс]. — 2023. — Режим доступа: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer> (дата обращения: 02.10.2025).
2. Bray F., Ferlay J., Soerjomataram I., Siegel R. L., Torre L. A., Jemal A. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries // CA: A Cancer Journal for Clinicians. — 2018. — Т. 68, № 6. — С. 394–424. — DOI: <https://doi.org/10.3322/caac.21492>.
3. International Agency for Research on Cancer. Cancer Tomorrow: Estimated number of new cases from 2020 to 2040 [Электронный ресурс]. — Lyon: IARC, 2020. — Режим доступа: <https://gco.iarc.fr/tomorrow> (дата обращения: 02.10.2025).
4. Pan American Health Organization. World Cancer Day 2023: Close the Care Gap [Электронный ресурс]. — 2023. — Режим доступа: <https://www.paho.org/en/campaigns/world-cancer-day-2023-close-care-gap> (дата обращения: 02.10.2025).
5. Tarabichi M. Systems biology of cancer: entropy, disorder, and selection [Электронный ресурс] // Frontiers in Genetics. — 2013. — Vol. 4. — P. 1–8. — Режим доступа: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3843370> (дата обращения: 02.10.2025).
6. Lucia U. A Thermodynamic Approach to the Metaboloepigenetics [Электронный ресурс] // Entropy. — 2023. — Vol. 25(2). — P. 267. — Режим доступа: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9960652> (дата обращения: 02.10.2025).
7. Shamsabadipour A., et al. Applying thermodynamics as an applicable approach to cancer diagnosis and early detection of tumors [Электронный ресурс] // IRBM. — 2023. — Vol. 44(5). — P. 100736. — Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1773224723005336> (дата обращения: 02.10.2025).
8. Movahed T. M., et al. Predicting cancer cells progression via entropy generation [Электронный ресурс] // Journal of Molecular Graphics and Modelling. — 2021. — Vol. 107. — P. 107940. — Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0735193321004589> (дата обращения: 02.10.2025).
9. Aykan N. F. Biophysical Approach to Understand Life and Cancer [Электронный ресурс] // Aging and Cancer. — 2024. — Vol. 5(1). — e12075. — Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/aac2.12075> (дата обращения: 02.10.2025).
10. Teschendorff A. E., Banerji C. R. S., Severini S. et al. Increased signaling entropy in cancer requires the scale-free property of protein interaction networks [Электронный ресурс] // Scientific Reports. — 2015. — Vol. 5. — 9646. — Режим доступа: <https://www.nature.com/articles/srep09646> (дата обращения: 02.10.2025).
11. Nieto-Villar J. M., et al. Longevity, Aging and Cancer: Thermodynamics and Entropy Production [Электронный ресурс] // Biophysics. — 2022. — Vol. 2(3). — P. 376–389. — Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2673-9321/2/3/45> (дата обращения: 02.10.2025).

12. Arango-Restrepo A., Rubi J. M. Predicting cancer stages from tissue energy dissipation [Электронный ресурс] // Scientific Reports. — 2023. — Vol. 13. — 14893. — Режим доступа: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-42780-0> (дата обращения: 02.10.2025).
13. Rietman E. A., et al. Gibbs free energy and entropy of protein–protein interactions [Электронный ресурс] // Scientific Reports. — 2016. — Vol. 6. — 34523. — Режим доступа: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4942417> (дата обращения: 02.10.2025).
14. Rezazadeh A., et al. Evaluation of Cancer Progression Using Dynamic Entropy Changes and Thermography [Электронный ресурс] // ResearchGate. — 2021. — Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/352093343> (дата обращения: 02.10.2025).