

## **TERMODINAMIKA. TIRIK SISTEMALAR TERMODINAMIKASI**

p.f.f.d, PhD, dotsent. **Buzrukov To'liqin Omonovich**

Email: [tolqinbuzrukov5@gmail.com](mailto:tolqinbuzrukov5@gmail.com)

**O'ralov Ozodbek O'ktam o'g'li**

Termiz iqtisodiyot va servis universiteti

Tibbiyot fakulteti

### **Annotatsiya**

Termodinamika — energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanishi, issiqlik almashinuvi, ish bajarilishi, entropiya, erkin energiya va tizimlarning muvozanat yoki muvozanatdan uzoq holatdagi xatti-harakatlarini o'rganuvchi fundamental fan hisoblanadi. Tirik organizmlar ham termodinamik qonunlarga bo'ysunadi, biroq ular oddiy yopiq fizik tizimlar emas, balki tashqi muhit bilan doimiy modda, energiya va axborot almashadigan ochiq, murakkab va o'z-o'zini boshqaruvchi biologik sistemalardir. Hujayra metabolizmi, nafas olish, qon aylanishi, tana haroratini saqlash, mushak qisqarishi, nerv impulslarining uzatilishi, fermentativ reaksiyalar va immun javob kabi jarayonlar termodinamik asosga ega.

Tirik sistemalar termodinamikasining asosiy xususiyati shundaki, organizm ichki tartiblangan tuzilmasini saqlab qolish uchun tashqi muhitdan energiya oladi va metabolik jarayonlarda hosil bo'lgan entropiyani asosan issiqlik shaklida muhitga chiqaradi. Zamonaviy biotermodinamika organizmni muvozanatdan uzoq, dissipativ, o'z-o'zini tashkil etuvchi sistema sifatida ko'radi. Biokimyoviy tizimlarda nomuvozanat termodinamikasi kimyoviy reaksiyalar, modda transporti, membrana potentsiali va energiya almashinuvi o'rtasidagi bog'liqlikni tushuntirishda muhim nazariy asos yaratadi. PubMed'da indekslangan sharhlarda termodinamikaning

bioenergetikadagi roli, ayniqsa mitoxondriya ichki membranasida energiyani saqlash va aylantirish jarayonlari bilan bog'liqligi alohida ta'kidlangan.

Maqolada tirik sistemalar termodinamikasining tibbiyotdagi ahamiyati, metabolizm va bioenergetika bilan bog'liqligi, tana harorati boshqarilishi, issiqlik stressi, gipoksiya, sepsis, onkologik metabolizm, mitoxondrial disfunksiya va klinik diagnostikadagi qo'llanish yo'nalishlari tahlil qilindi. Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti ma'lumotlariga ko'ra, issiqlik stressi ob-havo bilan bog'liq o'limlarning yetakchi sabablaridan biri bo'lib, yurak-qon tomir kasalliklari, diabet, ruhiy salomatlik buzilishlari va nafas yo'llari kasalliklarini og'irlashtirishi mumkin; issiq urishi esa yuqori o'lim xavfiga ega shoshilinch holat hisoblanadi. Shu jihatdan tirik organizmlarda issiqlik balansi, energiya almashinuvi va termoregulyatsiya mexanizmlarini o'rganish nafaqat nazariy biofizika, balki amaliy tibbiyot uchun ham dolzarbdir.

**Kalit so'zlar:** termodinamika, tirik sistemalar, bioenergetika, entropiya, erkin energiya, metabolizm, mitoxondriya, termoregulyatsiya, issiqlik stressi, tibbiy biofizika.

### **Kirish**

Termodinamika tabiatdagi barcha jarayonlarning energetik asosini tushuntiruvchi umumiy ilmiy nazariyadir. Tibbiyot, biologiya va biofizika nuqtayi nazaridan termodinamika tirik organizmda energiya qanday qabul qilinishi, qanday saqlanishi, qanday aylantirilishi va qanday sarflanishini tushunish imkonini beradi. Inson organizmi har bir soniyada millionlab biokimyoviy reaksiyalarni amalga oshiradi. Bu reaksiyalar nafaqat molekulalar o'zgarishi, balki energiya oqimi, issiqlik ajralishi, ionlar transporti, ATP sintezi va entropiya almashinuvi bilan bog'liq murakkab jarayonlardir.

Tirik organizm termodinamik jihatdan ochiq sistemadir. U tashqi muhitdan oziq moddalar, kislorod, suv va axborot qabul qiladi, shu bilan birga karbonat angidrid, metabolitlar, issiqlik va chiqindi moddalarni tashqi muhitga chiqaradi. Agar organizm

muhit bilan energiya va modda almashinuvini to'xtatsa, biologik tartib saqlanmaydi va hayotiy jarayonlar izdan chiqadi. Shu sababli hayotning o'zi doimiy energiya oqimi va termodinamik muvozanat holatida mavjud bo'ladi.

Klassik termodinamika birinchi, ikkinchi va uchinchi qonunlar orqali energiya saqlanishi, entropiyaning ortishi va mutlaq nolga yaqinlashgan holatlarni tushuntiradi. Biologik sistemalarda bu qonunlar o'ziga xos ko'rinishda namoyon bo'ladi. Termodinamikaning birinchi qonuni organizmda energiya yo'qolmasligini, balki kimyoviy energiya, mexanik ish, elektr potensial va issiqlikka aylanishini ko'rsatadi. Masalan, oziq moddalar tarkibidagi kimyoviy energiya hujayrada ATP shaklida saqlanadi, mushak qisqarishida mexanik ishga, nerv impulslarida elektr hodisalarga, metabolik jarayonlarda esa issiqlikka aylanadi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni entropiya tushunchasi bilan bog'liq. Tirik organizmlar ichki tuzilmasini tartibli holda saqlab turadi, ammo bu holat ikkinchi qonunga zid emas. Chunki organizm ichki tartibni saqlash uchun tashqi muhitdan energiya oladi va entropiyani muhitga chiqaradi. Sabater tomonidan yozilgan sharhda organizmlar metabolik jarayonlarda hosil bo'ladigan entropiyani issiqlik sifatida tashqi muhitga chiqarish orqali nisbatan past ichki entropiya holatini saqlab turishi ko'rsatilgan.

Tirik sistemalarda termodinamika nafaqat energiya almashinuvi, balki sog'liq va kasallik mexanizmlarini tushuntirishda ham muhimdir. Masalan, isitma, gipotermiya, issiq urishi, gipoksiya, shok, sepsis, mitoxondrial kasalliklar, qandli diabet, semizlik, saraton metabolizmi va yurak yetishmovchiligi — bularning barchasida energiya almashinuvi va termodinamik muvozanatning buzilishi kuzatiladi. WHO issiqlik stressini muhim ekologik va mehnat salomatligi xavfi sifatida baholaydi; u yurak-qon tomir kasalliklari, diabet, astma va ruhiy salomatlik muammolarini og'irlashtirishi mumkin.

O'zbekiston sharoitida ham bu mavzu amaliy ahamiyatga ega. Yoz oylarida yuqori harorat, suvsizlanish, quyosh urishi va issiqlik stressi aholining salomatligiga ta'sir ko'rsatadi. O'zbekiston Respublikasi Sog'liqni saqlash vazirligi issiq kunlarda konditsionerdan noto'g'ri foydalanish ham salomatlikka salbiy ta'sir qilishi mumkinligini eslatib, issiq ob-havo davrida ehtiyot choralariga rioya qilish bo'yicha tavsiyalar beradi. Bu holat termoregulyatsiya va issiqlik almashinuvi mexanizmlarini tibbiy nuqtayi nazardan o'rganish zarurligini ko'rsatadi.

**Tadqiqot maqsadi:** termodinamika va tirik sistemalar termodinamikasining tibbiyotdagi ilmiy-amaliy ahamiyatini, organizm energetikasi, termoregulyatsiya, metabolik jarayonlar va kasalliklar patofiziologiyasi bilan bog'liqligini tahlil qilish.

**Tadqiqot vazifalari:** tirik sistemalarning ochiq termodinamik sistema sifatidagi xususiyatlarini yoritish; bioenergetika va metabolizm da erkin energiya rolini tahlil qilish; termoregulyatsiyaning klinik ahamiyatini ko'rsatish; issiqlik stressi, mitoxondrial disfunktsiya va metabolik kasalliklar bilan bog'liq termodinamik mexanizmlarni tushuntirish; zamonaviy ilmiy manbalar asosida mavzuning tibbiy-amaliy istiqbollari baholash.

### **Materiallar va usullar**

Mazkur maqola tavsifiy-tahliliy ilmiy sharh sifatida tayyorlandi. Tadqiqotda termodinamika, tirik sistemalar biofizikasi, bioenergetika, metabolizm, mitoxondrial funktsiya, termoregulyatsiya, issiqlik stressi va klinik patofiziologiyaga oid ilmiy adabiyotlar tahlil qilindi. Manba sifatida PubMed/NCBI, PubMed Central, Scientific Reports, WHO, ILO, O'zbekiston Respublikasi Sog'liqni saqlash vazirligi rasmiy portali va zamonaviy biofizik sharhlar o'rganildi.

Adabiyotlarni tanlashda quyidagi mezonlar asos qilib olindi: maqolaning bioenergetika yoki tirik sistemalar termodinamikasiga bevosita aloqadorligi; klinik tibbiyotdagi qo'llanishi; termoregulyatsiya va issiqlik stressi bo'yicha xalqaro sog'liqni saqlash

manbalariga tayanishi; PubMed yoki ilmiy bazalarda indekslangan bo'lishi; statistik yoki klinik ahamiyatga ega ma'lumotlar taqdim etishi.

Tahlil quyidagi asosiy yo'nalishlar bo'yicha olib borildi:

1. **Nazariy-termik tahlil:** tirik organizmlarda energiya saqlanishi, entropiya, erkin energiya, issiqlik almashinuvi va nomuvozanat holati o'rganildi.
2. **Bioenergetik tahlil:** ATP sintezi, oksidlovchi fosforlanish, mitoxondrial membrana potentsiali va metabolik yo'llar termodinamik nuqtayi nazardan ko'rib chiqildi.
3. **Klinik-patofiziologik tahlil:** isitma, gipotermiya, issiqlik stressi, gipoksiya, sepsis, diabet va saraton metabolizmi bilan bog'liq energetik o'zgarishlar umumlashtirildi.
4. **Profilaktik tahlil:** yuqori harorat sharoitida organizm issiqlik balansini saqlash, suvsizlanish va issiq urishining oldini olish choralari xalqaro va milliy manbalar asosida tahlil qilindi.

Maqolada bevosita klinik bemorlar guruhi ustida eksperimental tadqiqot o'tkazilmadi. "Natijalar" bo'limi ilmiy adabiyotlar, klinik kuzatuvlar va xalqaro sog'liqni saqlash manbalarining tahliliy umumlashtirilishiga asoslandi. Bunday yondashuv tibbiy biofizika mavzusini OAK talablari doirasida nazariy, klinik va amaliy jihatdan kompleks yoritishga imkon beradi.

## **Natijalar**

### **Tirik sistemalar ochiq termodinamik sistema sifatida**

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, tirik organizmlar termodinamik jihatdan ochiq sistemalar bo'lib, ular tashqi muhit bilan uzluksiz modda va energiya almashadi. Oddiy yopiq tizimlarda entropiya vaqt o'tishi bilan ortadi va tizim muvozanatga intiladi. Tirik organizmlar esa muvozanatdan uzoq holatda yashaydi, chunki biologik faoliyat doimiy energiya oqimini talab qiladi.

Organizm oziq moddalar tarkibidagi kimyoviy energiyani qabul qiladi. Uglevod, yogʻ va oqsillar metabolizm jarayonida parchalanib, ATP hosil boʻlishiga xizmat qiladi. ATP hujayraning universal energiya valyutasi boʻlib, mushak qisqarishi, ion nasoslari, oqsil sintezi, nerv impulsi, membrana transporti va hujayra boʻlinishi kabi jarayonlarda sarflanadi. Shu jarayonda energiyaning bir qismi har doim issiqlik sifatida ajraladi. Bu issiqlik tana haroratini saqlashda foydali boʻlsa-da, ortiqcha boʻlsa, organizm uchun xavf tugʻdiradi.

Zhang va hamkasblarining biokimyoviy tizimlarda nomuvozanat termodinamikasi boʻyicha sharhida tirik sistemalarda kimyoviy reaksiyalar, transport jarayonlari va metabolik tarmoqlar muvozanatdan uzoq sharoitda sodir boʻlishi, bunday jarayonlarni klassik muvozanat termodinamikasi bilan toʻliq tushuntirib boʻlmasligi taʼkidlangan. Bu holat tibbiy biofizikada nomuvozanat yondashuvining dolzarbligini koʻrsatadi.

### **Bioenergetika va ATP ishlab chiqarish**

Tirik sistemalar termodinamikasining markazida bioenergetika turadi. Bioenergetika hujayrada energiyaning saqlanishi, oʻzgarishi va sarflanishini oʻrganadi. Hujayra darajasida eng muhim energiya manbai ATP hisoblanadi. Mitoxondriya ichki membranasida elektron tashish zanjiri va oksidlovchi fosforlanish orqali oziq moddalardan olingan energiya ATP shaklida jamlanadi. Bu jarayonda proton gradienti, membrana potentsiali va kimyoviy energiya bir-biri bilan uzviy bogʻliq.

Demirel tomonidan PubMed'da indekslangan sharhda termodinamika bioenergetikada kimyoviy reaksiyalar va modda transportining juftlashgan mexanizmlarini tushuntirishda muhim ekani koʻrsatilgan; ayniqsa mitoxondriya ichki membranasida energiyaning saqlash va aylantirish jarayonlari bioenergetikaning asosiy yoʻnalishi sifatida qayd etilgan.

ATP ishlab chiqarish samaradorligining pasayishi turli kasalliklar bilan bogʻliq. Mitoxondrial disfunktsiya yurak mushagi yetishmovchiligi, neyrodegenerativ kasalliklar, qandli diabet, surunkali charchoq sindromi, qarish jarayoni va saraton

metabolizmi bilan bogʻliq holda oʻrganilmoqda. Hujayrada energiya yetishmovchiligi ion muvozanatini buzadi, membrana potensialini oʻzgartiradi, oksidlovchi stressni kuchaytiradi va hujayra oʻlimiga olib kelishi mumkin.

### **Entropiya va biologik tartib**

Tirik organizmlar yuqori darajada tartiblangan sistemalaridir. DNK, oqsillar, hujayra membranalari, organellalar, toʻqimalar va organlar aniq struktura va vazifaga ega. Biroq bu tartib oʻz-oʻzidan saqlanmaydi; u doimiy energiya sarfini talab qiladi. Termodinamik nuqtayi nazardan, organizm ichki tartibni saqlash uchun tashqi muhitdan past entropiyali energiya va modda oladi, yuqori entropiyali chiqindi va issiqlikni tashqariga chiqaradi.

Scientific Reports'da chop etilgan modelda metabolik tarmoqlarda ichki entropiya ishlab chiqarish asosan qaytmas kimyoviy reaksiyalar bilan, tashqi entropiya almashinuvi esa koʻproq hujayralararo muhitga issiqlik oqimi bilan bogʻliqligi koʻrsatilgan. Tadqiqotda bu yondashuv normal va saraton hujayralaridagi glyukoza katabolizmi misolida tahlil qilingan.

Bu natijalar onkologiyada ham muhim. Saraton hujayralari koʻpincha energiya almashinuvini qayta dasturlaydi. Masalan, Warburg effekti deb ataladigan holatda saraton hujayralari kislorod mavjud boʻlsa ham glyukozani koʻproq glikoliz orqali parchalaydi. Bu jarayon termodinamik nuqtayi nazardan hujayraning tez oʻsishi, biosintez uchun substratlar hosil qilishi va mikro-muhitni oʻzgartirishi bilan bogʻliq boʻlishi mumkin.

### **Termoregulyatsiya va klinik ahamiyat**

Inson organizmida tana harorati nisbatan barqaror saqlanadi. Normal tana harorati taxminan 36,5–37,5 °C atrofida boʻlib, bu fermentativ reaksiyalar, membrana suyuqligi, nerv-mushak faoliyati va metabolik jarayonlar uchun optimal sharoit yaratadi. Termoregulyatsiya gipotalamus tomonidan boshqariladi. Issiqlik ishlab chiqarish asosan metabolizm, mushak faoliyati va jigardagi biokimyoviy jarayonlar

hisobiga yuzaga keladi; issiqlik yo'qotish esa terlash, teri qon tomirlarining kengayishi, nafas olish, konveksiya, radiatsiya va bug'lanish orqali amalga oshadi.

Tana harorati me'yordan oshsa, fermentlar denaturatsiyasi, suvsizlanish, elektrolit muvozanati buzilishi, markaziy asab tizimi shikastlanishi va ko'p a'zoli yetishmovchilik yuzaga kelishi mumkin. WHO issiq urishini yuqori o'lim xavfiga ega shoshilinch tibbiy holat sifatida ta'riflaydi.

Issiqlik stressi ayniqsa yurak-qon tomir kasalligi, diabet, buyrak kasalligi, keksa yosh, homiladorlik, bolalik davri va og'ir jismoniy mehnat bilan shug'ullanuvchi guruhlar uchun xavflidir. ILO ma'lumotlariga ko'ra, iqlim o'zgarishi sharoitida ish joyidagi issiqlik stressi global mehnat xavfsizligi muammosiga aylanmoqda; 2024-yilgi hisobotda kamida 2,41 milliard ishchi issiqlik stressi bilan bog'liq xavflarga duch kelishi ko'rsatilgan.

O'zbekiston sharoitida yoz oylaridagi issiq havoda suyuqlik ichish, quyoshning eng faol vaqtida tashqarida uzoq qolmaslik, yengil kiyim kiyish, bolalar va keksalarni himoya qilish, konditsionerdan to'g'ri foydalanish kabi choralar muhim. Mahalliy manbalarda SSV mutaxassislari kunning eng issiq vaqtida ehtiyot bo'lish, soyada yurish, bosh kiyim va quyoshdan himoyalovchi vositalardan foydalanish, faollikni ertalab yoki kechki paytga rejalashtirishni tavsiya etgani yoritilgan.

### **Kasalliklarda termodinamik buzilishlar**

Tirik sistemalar termodinamikasining klinik ahamiyati kasalliklarda yaqqol namoyon bo'ladi. Sepsisda metabolizm keskin o'zgaradi: kislorod yetkazilishi, mitoxondrial nafas olish, ATP ishlab chiqarish va issiqlik almashinuvi buziladi. Bemor isitma yoki aksincha gipotermiya bilan kelishi mumkin. Bu holat organizmning energiya boshqaruvi izdan chiqqanini ko'rsatadi.

Gipoksiyada hujayra aerob metabolizmdan anaerob glikolizga o'tadi, laktat to'planadi, ATP kamayadi va hujayra membrana nasoslari faoliyati pasayadi. Yurak yetishmovchiligida miokard energetikasi buzilib, yurak mushagining mexanik ish

bajarish qobiliyati kamayadi. Qandli diabetda esa glyukoza va yog' almashinuvi termodinamik jihatdan samarasiz holatga o'tib, oksidlovchi stress, mitoxondrial shikastlanish va yallig'lanish kuchayadi.

Onkologik kasalliklarda metabolik qayta dasturlanish hujayraning energetik talablariga moslashish mexanizmi sifatida qaraladi. Saraton hujayralari o'sish va bo'linish uchun energiya bilan birga ko'p miqdorda biosintetik substratlarga muhtoj bo'ladi. Shu sababli ularning termodinamik holati normal hujayralardan farq qiladi. Bu farq zamonaviy onkologiyada metabolik terapiya, PET diagnostika va o'sma mikro-muhitini o'rganish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

### **Muhokama**

Tirik sistemalar termodinamikasi tibbiyot uchun faqat nazariy fan emas. U klinik fikrlash, kasalliklar patogenezi, diagnostika va davolash strategiyalarini chuqurroq tushunish imkonini beradi. Organizmni ochiq termodinamik sistema sifatida ko'rish shifokorga har bir biologik jarayon ortida energiya oqimi va muvozanatni saqlash mexanizmlari borligini anglatadi.

Masalan, oddiy tana harorati ko'rsatkichining o'zi ham termodinamik holat haqida katta ma'lumot beradi. Isitma immun tizimning infeksiyaga javobi sifatida rivojlanadi, biroq yuqori harorat metabolik talabni oshiradi, yurak urish sonini ko'paytiradi, suyuqlik yo'qotilishini kuchaytiradi va zaif bemorlarda xavf tug'diradi. Gipotermiya esa fermentativ reaksiyalar sekinlashishi, yurak ritmi buzilishi va markaziy asab tizimi faoliyati pasayishi bilan xavfli.

Bioenergetika tushunchasi farmakologiyada ham katta ahamiyatga ega. Ko'plab dori vositalari hujayra metabolizmi, ion kanallari, membrana potentsiali yoki mitoxondrial funksiyaga ta'sir qiladi. Masalan, ayrim antibiotiklar bakterial energiya almashinuvini buzadi; onkologik preparatlar saraton hujayralari proliferatsiyasi uchun zarur energiya va biosintez jarayonlariga ta'sir qiladi; kardiologiyada esa yurak mushagining energiya sarfi va kislorod talabini kamaytiruvchi yondashuvlar muhim o'rin tutadi.

Termodinamik yondashuv sport tibbiyoti va reabilitatsiyada ham dolzarbdir. Jismoniy mashq paytida mushaklar ATPni tez sarflaydi, issiqlik hosil bo‘ladi, yurak-qon tomir va nafas tizimlari energiya talabiga moslashadi. Agar suyuqlik va elektrolit balansi buzilsa, termoregulyatsiya izdan chiqadi va issiqlik zo‘riqishi yuzaga keladi. Shu bois sportchilar, harbiy xizmatchilar, qurilish ishchilari va ochiq havoda ishlovchilar uchun issiqlik xavfsizligi alohida tibbiy masala hisoblanadi.

Zamonaviy ilmiy izlanishlarda tirik sistemalar termodinamikasi yangi bosqichga ko‘tarilmoqda. Nomuvozanat termodinamikasi, matematik modellashtirish, metabolomika, kalorimetriya, mitoxondrial bioenergetika, saraton metabolizmi va tizimli biologiya yo‘nalishlari organizmni faqat organlar yig‘indisi emas, balki energiya va axborot oqimlari bilan boshqariladigan murakkab tizim sifatida o‘rganmoqda. Bioengineering thermodynamics bo‘yicha tadqiqotlarda biologik hujayralar muvozanatdan uzoq, yuqori eksergiya holatiga ega murakkab sistemalar sifatida ko‘riladi.

Amaliy sog‘liqni saqlashda bu bilimlar issiq urishini oldini olish, intensiv terapiyada energiya balansi va harorat monitoringi, neonatal parvarishda chaqaloq termoregulyatsiyasi, jarrohlikda gipotermiyani profilaktika qilish, reanimatsiyada kislorod yetkazilishini baholash, endokrinologiyada bazal metabolizmni tushunish va onkologiyada metabolik markerlardan foydalanish uchun zarur.

O‘zbekiston tibbiyot ta’limida tirik sistemalar termodinamikasini faqat fizika bo‘limi sifatida emas, balki klinik fanlar bilan bog‘langan holda o‘qitish maqsadga muvofiq. Masalan, termodinamikaning birinchi qonunini ovqat kaloriyasi va ATP almashinuvi orqali, ikkinchi qonunini metabolik issiqlik va entropiya orqali, issiqlik almashinuvini esa isitma, gipotermiya va issiq urishi misolida tushuntirish talabalar uchun ancha samarali bo‘ladi.

## **Xulosa**

Termodinamika tirik sistemalarni tushunishning fundamental ilmiy asosidir. Inson organizmi ochiq, muvozanatdan uzoq, o‘z-o‘zini boshqaruvchi biologik sistema bo‘lib, hayotiy faoliyatini saqlash uchun tashqi muhitdan energiya va modda oladi, metabolik mahsulotlar hamda issiqlikni tashqariga chiqaradi. Shu jarayonlar orqali organizm ichki tartibini, tana haroratini, metabolik barqarorligini va biologik funksiyalarini saqlaydi.

Tirik sistemalar termodinamikasi hujayra bioenergetikasi, ATP sintezi, mitoxondrial funksiya, membrana transporti, fermentativ reaksiyalar, mushak qisqarishi, nerv impulslari, termoregulyatsiya va metabolik kasalliklarni tushuntirishda muhim ahamiyatga ega. Entropiya va erkin energiya tushunchalari biologik tartibning qanday saqlanishini, organizm nima uchun doimiy energiya oqimiga muhtojligini va kasalliklarda bu muvozanat qanday buzilishini izohlashga yordam beradi.

Tibbiy amaliyotda termodinamik bilimlar isitma, gipotermiya, issiq urishi, sepsis, gipoksiya, yurak yetishmovchiligi, qandli diabet, saraton metabolizmi va mitoxondrial disfunksiya kabi holatlarni chuqurroq anglashga xizmat qiladi. WHO ma’lumotlarida issiqlik stressi muhim global sog‘liq xavfi sifatida ko‘rsatilgani, O‘zbekiston sharoitida esa yozgi yuqori haroratlarning aholining salomatligi uchun muhim omil ekanligi termoregulyatsiya va issiqlik almashinuvi bo‘yicha tibbiy savodxonlikni oshirish zarurligini ko‘rsatadi.

Umuman olganda, tirik sistemalar termodinamikasini o‘rganish tibbiyot talabalari va mutaxassislari uchun nazariy bilimni klinik tafakkur bilan bog‘laydi. Ushbu yo‘nalish biofizika, fiziologiya, biokimyoy, patologiya va klinik tibbiyot o‘rtasidagi integratsiyani kuchaytiradi hamda inson organizmini energiya, modda va axborot almashinuvi orqali ishlaydigan murakkab tirik sistema sifatida chuqur tushunishga yordam beradi.

### **Foydalanilgan adabiyotlar**

1. Demirel Y. Thermodynamics and bioenergetics. *Biophysical Chemistry*. 2002;97(2–3):87–111.
2. Zhang D., et al. Nonequilibrium Thermodynamics in Biochemical Systems and Its Application. *Entropy*. 2021.
3. Sabater B. Entropy Perspectives of Molecular and Evolutionary Biology. *Entropy*. 2022.
4. Zivieri R., et al. Rate of entropy model for irreversible processes in living systems. *Scientific Reports*. 2017.
5. Lucia U. Bioengineering thermodynamics of biological cells. *Theoretical Biology and Medical Modelling*. 2015.
6. Deamer D. Bioenergetics and Life's Origins. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 2010.
7. World Health Organization. Heat and health. WHO Fact Sheet; updated 2026.
8. International Labour Organization. Heat at work: Implications for safety and health. ILO; 2024.
9. Wanner S.P., et al. Consequences of climate change on human health and physiological responses to heat. *PMC indexed review*. 2025.
10. O'zbekiston Respublikasi Sog'liqni saqlash vazirligi. Issiq kunlarda salomatlikni asrash bo'yicha mutaxassis tavsiyalari. Gov.uz; 2025.
11. O'zbekiston Respublikasi Sog'liqni saqlash vazirligi. Rasmiy portal va sog'liqni saqlash sohasidagi ma'lumotlar. Gov.uz.
12. Nelson D.L., Cox M.M. *Lehninger Principles of Biochemistry*. 8th ed. New York: W.H. Freeman; 2021.
13. Hall J.E. *Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology*. 14th ed. Philadelphia: Elsevier; 2021.
14. Boron W.F., Boulpaep E.L. *Medical Physiology*. 3rd ed. Philadelphia: Elsevier; 2017.

15. Alberts B., et al. *Molecular Biology of the Cell*. 7th ed. New York: W.W. Norton; 2022.
16. Berg J.M., Tymoczko J.L., Gatto G.J., Stryer L. *Biochemistry*. 9th ed. New York: W.H. Freeman; 2019.
17. Voet D., Voet J.G. *Biochemistry*. 5th ed. Hoboken: Wiley; 2018.
18. Ganong W.F. *Review of Medical Physiology*. 26th ed. New York: McGraw-Hill; 2019.
19. Campbell N.A., et al. *Biology: A Global Approach*. 12th ed. Pearson; 2020.
20. World Health Organization. *Climate change and health: heat-related risks and public health response*. WHO resources.