MEXANIK TEBRANISHLAR VA ULARNING TIBBIYOTDAGI QO‘LLANILISHI

Niyazova Arofat Axrorovna
TDTU 3-son akademik litsey fizika va informatika fanlari o`qituvchisi

Anotatsiya: Ushbu maqolada mexanik tebranishlarning fizik mohiyati va ularning zamonaviy tibbiyotdagi amaliy qo‘llanilishi tahlil qilinadi. Mexanik tebranishlar – bu tizimning muvozanat holatidan vaqt bo‘yicha qayta-qayta o‘z holatiga qaytuvchi harakati bo‘lib, ultratovush, vibroterapiya, litotipsiya va boshqa diagnostik-terapevtik usullarning asosini tashkil etadi. Maqolada garmonik tebranishlar, to‘lqin tenglamasi, rezonans, so‘nish va kavitatsiya kabi fizik qonuniyatlarning biologik to‘qimalarga ta’siri ilmiy manbalar asosida yoritiladi. Ultratovush diagnostikasi (sonografiya), terapevtik ultratovush, butun tana vibratsiyasi (WBV) va mexanotransduksiya mexanizmlari batafsil ko‘rib chiqiladi. Tadqiqot natijalari mexanik tebranishlarning qon aylanishini yaxshilash, og‘riqni kamaytirish, suyak regeneratsiyasini tezlashtirish va hujayra darajasidagi jarayonlarni boshqarishdagi ahamiyatini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: mexanik tebranishlar, ultratovush, vibroterapiya, rezonans, mexanotransduksiya, sonografiya.

Kirish

Fizika fanining asosiy bo‘limlaridan biri bo‘lgan mexanik tebranishlar va to‘lqinlar nazariyasi tibbiyotning ko‘plab sohalarida keng qo‘llaniladi. Mexanik tebranish – bu jism yoki tizimning muvozanat holatidan chiqarilishi va ma’lum vaqt oralig‘ida bir xil trajektoriya bo‘ylab qayta-qayta harakatlanishi demakdir. Agar bu tebranishlar elastik muhitda tarqalsa, mexanik to‘lqinlar hosil bo‘ladi. Inson qulog‘i eshitadigan tovush to‘lqinlari (16–20 000 Hz), infratovushlar (<16 Hz) va ultratovushlar (>20 000 Hz) barchasi mexanik tebranishlarning turli chastota diapazonlaridir.

Tibbiyotda mexanik tebranishlar diagnostika (ultratovush tekshiruvi), terapiya (ultratovush terapiyasi, vibroterapiya) va jarrohlik (litotipsiya, ultratovushli skalpellar) sohalarida muhim o‘rin tutadi. Ushbu maqolaning maqsadi – mexanik tebranishlarning fizik asoslarini tibbiyotdagi qo‘llanilishi bilan bog‘lab, ilmiy jihatdan asoslab berishdir.

Mexanik Tebranishlarning Fizik Asoslari

Garmonik tebranishlar va asosiy parametrlar

Eng sodda va muhim tur – sodda garmonik tebranish (SGT) hisoblanadi. U sinusoidal qonun bilan ifodalanadi:

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

bu yerda A – amplituda (maksimal siljish), $\omega = 2\pi f$ – burchak chastotasi, f – chastota (Hz), φ – boshlang‘ich faza. Chastota $f = 1/T$, T – tebranish davri. Tebranish energiyasi amplitudaning kvadratiga proporsionaldir: $E \sim A^2$. Bu qonuniyat tibbiyotda dozimetriya (davolovchi doza hisoblash) uchun muhim ahamiyatga ega.

To‘lqinlar va ularning tarqalishi

Mexanik to‘lqinlar elastik muhitda energiyani uzatadi. Tovush va ultratovush – bu bo‘ylama (longitudinal) to‘lqinlardir, ya’ni zarralar tebranishi to‘lqin tarqalish yo‘nalishiga parallel bo‘ladi. To‘lqin tezligi, chastota va to‘lqin uzunligi o‘rtasidagi bog‘liqlik:

$$v = \lambda \cdot f$$

Inson yumshoq to‘qimalarida tovush tezligi taxminan 1540 m/s ga teng. Shu sababli, diagnostik ultratovushda (2–15 MHz) to‘lqin uzunligi 0,1–0,8 mm oralig‘ida bo‘ladi, bu esa yuqori ajratish qobiliyatini ta’minlaydi.

Rezonans va so‘nish

Agar tashqi majburiy kuchning chastotasi tizimning tabiiy chastotasiga yaqinlashsa, rezonans hodisasi yuz beradi – amplituda keskin oshadi. Inson tanasining turli qismlarining rezonans chastotalari ma’lum: qorin bo‘shlig‘i 4–8 Hz, ko‘krak qafasi 5–10 Hz, bosh 20–30 Hz. Vibroterapiyada xavfsiz va samarali chastotalarni tanlashda bu qiymatlar hisobga olinadi. So‘nish (damping) esa energiya ishqalanish va issiqlik shaklida yo‘qolishi natijasida amplitudaning kamayishidir. Biologik to‘qimalarda so‘nish ultratovush intensivligining chuqurlikka qarab pasayishini belgilaydi.

Mexanik Tebranishlarning Tibbiyotdagi Qo‘Llanilishi

Ultratovush diagnostikasi (sonografiya)

Ultratovush – chastotasi 20 kHz dan yuqori bo‘lgan mexanik tebranishlardir. Tibbiy diagnostikada odatda 1–20 MHz chastotalar qo‘llaniladi. Ultratovush piezoelektrik effekt asosida hosil qilinadi: elektr maydoni ta’sirida piezoelektrik kristall (masalan, kvarts yoki PZT) mexanik tebranishlarga o‘tadi. To‘lqin to‘qimalardan qaytib (exo-signal), datchik tomonidan qabul qilinadi va tasvirga aylantiriladi. Yumshoq to‘qimalarda tovush tezligi 1540 m/s deb qabul qilingani uchun chuqurlik hisoblash aniq bo‘ladi. Diagnostik intensivlik odatda 0,1 Vt/sm² dan past bo‘lib, biologik ta’sir minimaldir.

Terapevtik ultratovush

Terapevtik ultratovushda chastota odatda 0,8–3 MHz, intensivlik 0,1–3 Vt/sm² oralig‘ida tanlanadi. Ikki asosiy bioeffekt mavjud: termal (issiqlik) va mexanik. Issiqlik effekti to‘qimalarda qon aylanishini kuchaytiradi, metabolizmni oshiradi. Mexanik effektlar orasida kavitatsiya (mikroqabarciklarning tebranishi va yiqilishi), akustik oqim va mikrovibratsiya muhim o‘rin tutadi. Kavitatsiya hujayra membranasi o‘tkazuvchanligini

oshiradi (sonoporatsiya), dori moddalarining yetkazilishini yaxshilaydi. Past intensivlikli impulssiz ultratovush (LIPUS) suyak singanlarini bitishini tezlashtirishda qo‘llaniladi.

Vibroterapiya va butun tana vibratsiyasi (WBV)

Past chastotali mexanik tebranishlar (5–90 Hz) vibroterapiyada qo‘llaniladi. Butun tana vibratsiyasi platformalari orqali bemorga uzatiladi. Mexanotransduksiya mexanizmi orqali tebranishlar hujayra ichidagi signal yo‘llarini faollashtiradi: integrinalar, ion kanallari (Piezo1, Piezo2) va tsitoskelet orqali gen ekspressiyasi o‘zgaradi. Natijada osteoblastlar faollashadi, suyak zichligi oshadi, mushak kuchi yaxshilanadi, og‘riq kamayadi. Klinik tadqiqotlar osteoporoz, ko‘p skleroz, Parkinson kasalligi, serebral falaj va sinishlardan keyingi reabilitatsiyada ijobiy natijalarni ko‘rsatgan. Amplituda 1 mm dan oshmasligi va seans vaqti cheklangan bo‘lishi tavsiya etiladi.

Litotipsiya va fokuslangan ultratovush

Ekstrakorporal zarba to‘lqinli litotipsiya (ESWL) buyrak va o‘t pufagi toshlarini maydalash uchun fokuslangan mexanik to‘lqinlarni ishlatadi. Yuqori intensivlikli fokuslangan ultratovush (HIFU) esa to‘qimalarni termal yoki mexanik yo‘l bilan ablyatsiya qilish (yo‘q qilish) imkonini beradi. So‘nggi yillarda fokuslangan ultratovush miya qon-miya to‘sig‘ini ochish, dori yetkazish, nevromodulyatsiya va o‘smalarni davolashda qo‘llanilmoqda.

Biofizik Mexanizmlar

Mexanik tebranishlarning biologik ta’siri asosan quyidagi mexanizmlar orqali amalga oshadi:

1. Mexanotransduksiya – mexanik kuchning biokimyoviy signalga aylanishi. Hujayra membranasi va tsitoskelet orqali o‘tkaziladi.
2. Termal effekt – ultratovush energiyasining yutilishi natijasida mahalliy issiqlik hosil bo‘lishi.
3. Kavitatsiya – gaz qabarciklarining tebranishi (barqaror) yoki yiqilishi (inertial). Inertial kavitatsiya yuqori energiya zichligini yaratib, to‘qimalarga mexanik ta’sir ko‘rsatadi.
4. Akustik radiatsion kuch va oqim – to‘lqin impulsi hisobiga suyuqlik harakati va hujayralarning siljishi.
5. Nerv stimulyatsiyasi – past chastotali vibratsiya og‘riq sezgisini kamaytirishi (vibratsion analgeziya) mumkin.

Xulosa

Mexanik tebranishlar fizikasi tibbiyotning zamonaviy diagnostik va terapevtik usullarining asosini tashkil etadi. Garmonik tebranishlar, to‘lqin tarqalishi, rezonans va so‘nish qonuniyatlari ultratovush diagnostikasi, vibroterapiya, litotipsiya va fokuslangan ultratovush terapiyasida bevosita qo‘llaniladi. Ilmiy tadqiqotlar mexanik stimulyatsiyaning hujayra darajasida

mexanotransduksiya orqali regeneratsiya, og‘riqni kamaytirish va qon aylanishini yaxshilashga olib kelishini tasdiqlaydi. Kelajakda chastota, amplituda va intensivlikni individual tanlash, shuningdek, xavfsizlik standartlarini yanada takomillashtirish muhim ahamiyatga ega. Fizika va tibbiyot fanlarining bu interdisiplinar aloqasi bemorlarning davolash sifatini oshirishga xizmat qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. O’Reilly M.A. Exploiting the mechanical effects of ultrasound for noninvasive therapy. Science. 2024;385(6714):eadp7206. doi:10.1126/science.adp7206
2. Bartel L. et al. Possible Mechanisms for the Effects of Sound Vibration on Human Health. Healthcare (Basel). 2021;9(5):597. doi:10.3390/healthcare9050597 (PMC8157227)
3. Ultrasound Therapy. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK547717/
4. Johnson-Love O., Salmeron-Sanchez M., Reid S., Childs P.G., Dalby M.J. Vibration-based cell engineering. Nat Rev Bioeng. 2025;3:408–429. doi:10.1038/s44222-025-00273-x
5. Абрамович С.Г. Лечение механическими колебаниями: учебно-методическое пособие. Иркутск: РИО ГБОУ ДПО ИГМАПО, 2016. – 60 с.
6. Overview of Therapeutic Ultrasound Applications and Safety Considerations: 2024 Update. J Ultrasound Med. 2025 (PMC11796337).
7. Miller D.L. et al. Overview of Therapeutic Ultrasound Applications and Safety Considerations. J Ultrasound Med. 2012;31(4):623–634 (yangilangan 2024).
9. Therapeutic vibrations: functions and the latest advances in medical applications. Vibrotherapy Pro, 2021.
10. Basic Principles of Ultrasound. Ultrasound Physics and its Application in Medicine. Pressbooks, 2024.
11. Clinical Applications of Biophysical Stimuli Technologies for Bone Healing. Ann Biomed Eng. 2026.