

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI SOG‘LIQNI SAQLASH VAZIRLIGI
FARG‘ONA JAMOAT SALOMATLIGI TIBBIYOT INSTITUTI

“TASDIQLAYMAN”

Sog‘liqni Saqlash vazirligi

Ilmiy-texnik kengashi raisi

_____ Sh.K. Atadjanov

«_____» _____ 2026 y.

Qosimova Gulnoza Soyibjonovna

“TEBRANISH VA TO‘LQIN JARAYONLARINING BIOFIZIK
ASOSLARI HAMDA ULARNING TIBBIYOTDA QO‘LLANILISHI”
(monografiya)

Farg‘ona-2026

UDK: 57.043:53:61
BBK 53.4я73

Qosimova Gulnoza Soyibjonovna
“Tebranish va to‘lqin jarayonlarining biofizik
asoslari hamda ularning tibbiyotda qo‘llanilishi”
Monografiya. Farg‘ona. 2026, 110 bet.

Ushbu monografiyada tebranish va to‘lqin jarayonlarining fizik asoslari hamda ularning tirik organizmdagi biofizik mexanizmlari yoritilgan. Gormonik va so‘nuvchi tebranishlar, matematik va fizik mayatniklar, elastik to‘lqinlarning tarqalishi, interferensiya, Doppler effekti nazariy jihatdan tahlil qilinadi.

Monografiyada tovush to‘lqinlarining fizik xarakteristikalarini, eshitish tizimining biofizik, audiometriya, ultratovush va infratovushning tibbiyotdagi qo‘llanilishi bayon etilgan. Shuningdek, quloq anatomiyasi va fiziologiyasi hamda eshitish funksiyasini tekshirish usullari biofizik nuqtai nazardan izohlanadi. Monografiya tibbiyot talabalari, biofizika va audiologiya yo‘nalishidagi mutaxassislar uchun mo‘ljallangan.

Taqrizchilar:

A. Yusupova – FarDU “Matematika” kafedrasini professori, f-m.f.d.

N. Nosirov – “Biotibbiyot muhandisligi, biofizika va axborot texnologiyalari” kafedrasini katta o‘qituvchisi, PhD.

1. KIRISH

Tabiatdagi barcha fizik jarayonlarning muhim qismi tebranish va to‘lqin hodisalari bilan bog‘liq bo‘lib, ular mexanika, akustika, optika hamda elektromagnit nazariyaning fundamental asosini tashkil etadi. Ayniqsa, tirik organizmda kechadigan ko‘plab fiziologik jarayonlar — yurak urishi, nafas harakati, ovoz hosil bo‘lishi, eshitish mexanizmi, qon oqimi va boshqa ko‘plab funksiyalar tebranish va to‘lqin tabiatiga ega. Shu sababli tebranish va to‘lqin jarayonlarini chuqur o‘rganish tibbiyot va biofizikaning dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Zamonaviy klinik diagnostika usullarining katta qismi aynan to‘lqin hodisalariga asoslanadi. Xususan, audiometriya, fonokardiografiya, Doppler ultratovush tekshiruvi, ultratovush diagnostikasi hamda zarb-to‘lqin terapiyasi kabi metodlar fizik qonuniyatlarga tayangan holda ishlab chiqilgan. Bu usullarning ilmiy asoslarini tushunish shifokor va mutaxassisdan chuqur biofizik tayyorgarlikni talab etadi.

Tovush to‘lqinlari inson organizmiga nafaqat fiziologik, balki diagnostik va terapevtik ta’sir ko‘rsatadi. Eshitish analizatorining tuzilishi va funksiyasini biofizik jihatdan tahlil qilish audiologiya va surdologiya sohalarining nazariy poydevorini tashkil etadi. Eshitish funksiyasini tekshirish usullari – kamerton sinovlari, audiometriya va boshqa akustik metodlar – mexanik tebranishlarning biologik tizimlarda qabul qilinishi va qayta ishlanishi jarayonlariga asoslanadi.

Mazkur monografiyada tebranish va elastik to‘lqinlar nazariyasining asosiy tushunchalari tizimli ravishda bayon qilinib, ularning tibbiyotdagi amaliy qo‘llanilish yo‘nalishlari keng yoritiladi. Asarda garmonik tebranishlar, ularning energiyasi, matematik va fizik mayatniklar, so‘nuvchi jarayonlar, interferensiya, turg‘un to‘lqinlar, Doppler effekti, tovushning fizik va sub’yektiv xarakteristikalar hamda eshitish apparatining biofizik mexanizmlari izchil tahlil qilinadi.

1.1 MAQSAD VA VAZIFALAR.

Mazkur monografiyaning maqsadi tebranish va to‘lqin jarayonlarining fundamental fizik qonuniyatlarini biofizik jihatdan tahlil qilish, ularning tibbiyot amaliyotidagi qo‘llanilish mexanizmlarini yoritishdan iborat. Tovush to‘lqinlari va eshitish tizimining fizik-biofizik asoslarini, audiologik tekshiruv usullarining nazariy asosini izohlash, nazariy bilimlarni klinik amaliyot bilan integratsiyalash maqsad qilib qo‘yilgan.

Belgilangan maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar amalga oshiriladi:

1. Garmonik va so‘nuvchi tebranishlarning fizik mohiyatini, ularning asosiy xarakteristikalar va energiya qonuniyatlarini tahlil qilish.
2. Matematik va fizik mayatniklar misolida tebranma harakatning nazariy asoslarini yoritish.
3. Elastik muhitda to‘lqinlarning tarqalish qonuniyatlarini, yassi va sferik to‘lqinlar tenglamalarini hamda to‘lqin energiyasini ilmiy asosda bayon etish.

4. To‘lqinlar interferensiyasi, difraksiyasi, turg‘un to‘lqinlar va Doppler effektining fizik mexanizmlarini tushuntirish.
5. Doppler effektining tibbiyotdagi qo‘llanilishini (xususan, ultratovush diagnostikasida) biofizik jihatdan asoslash.
6. Tovush to‘lqinlarining fizik va sub’yektiv xarakteristikalarini hamda ularning inson organizmiga ta’sirini tahlil qilish.
7. Eshitish analizatorining anatomik va fiziologik tuzilishini biofizik nuqtai nazardan izohlash.
8. Audiometriya va kamerton sinovlari (Veber, Rinne, Shvabax)ning fizik asoslarini ochib berish.
9. Ultratovush va infratovushning diagnostik hamda terapevtik qo‘llanilish yo‘nalishlarini yoritish.
10. Tebranish va to‘lqin jarayonlarining tibbiyotdagi zamonaviy texnologiyalar bilan uzviy bog‘liqligini ko‘rsatish.

1.2 MATERIALLAR VA METODLAR

Mexanika, akustika va to‘lqin nazariyasiga oid fundamental ilmiy manbalar, tibbiy va biologik fizika bo‘yicha darslik va monografiyalar, audiologiya hamda surdologiya sohasidagi zamonaviy ilmiy adabiyotlar tahlil qilindi. Shuningdek, ultratovush diagnostikasi, Doppler tekshiruvi, audiometriya va kamerton sinovlari (Veber, Rinne, Shvabax) ning nazariy tavsiflari hamda klinik qo‘llanilishiga oid ma’lumotlar umumlashtirildi.

Eshitish tizimining anatomik va fiziologik tuzilishi haqidagi ilmiy ma'lumotlar biofizik talqin asosida o'rganildi.

Tadqiqot metodologiyasining asosini nazariy tahlil metodi tashkil etdi. Tebranish va to'liq jarayonlari matematik tenglamalar, energiya qonuniyatlari va fizik modellar asosida izchil o'rganildi. Garmonik va so'nuvchi tebranishlar, elastik to'liqlarning tarqalishi, interferensiya, difraksiya, turg'un to'liqlar hamda Doppler effektining mexanizmlari matematik-analitik usulda tahlil qilindi.

Biofizik modellashtirish metodi orqali tovush to'liqlarining biologik muhitda tarqalishi, mexano-elektrik transformatsiya jarayoni va eshitish analizatorining funksional mexanizmlari fizik qonuniyatlar asosida izohlandi. Taqqoslovchi tahlil metodi asosida nazariy fizik qonuniyatlar klinik diagnostika usullari bilan solishtirildi hamda ularning o'zaro bog'liqligi ochib berildi.

Grafik va matematik interpretatsiya metodlaridan foydalanilib, tebranish va to'liq tenglamalari grafik modellar yordamida ifodalandi va ular klinik ko'rsatkichlar bilan bog'landi. Mazkur metodologik yondashuv tebranish va to'liq nazariyasining biofizik mazmunini chuqur ochib berish hamda ularning tibbiyotdagi amaliy ahamiyatini ilmiy asosda yoritish imkonini berdi.

2. TEBRANISHLAR VA TO‘LQINLAR, TEBRANMA HARAKAT

2.1 Garmonik tebranishlar va ularning harakteristikalari.

Jismning muvozanat holatidan navbatma-navbat bir tomonga va qarama-qarshi tomonga siljanishi vaqt bo‘yicha davriy ravishda takrorlanadigan harakat bo‘lib, **tebranma harakat** deb ataladi.

Jismga ta’sir etuvchi kuch siljishga proporsional bo‘lib, muvozanat holati tomonga yo‘nalgan bo‘lsa, bunday tebranishlar **garmonik tebranishlar** deyiladi. Garmonik tebranishlar sinus yoki kosinus qonunlariga bo‘ysunadi:

$$x = A \cos (\omega t + \alpha) \quad (1)$$

$$x = A \sin (\omega t + \alpha') \quad (2)$$

Bu yerda $\alpha' = \alpha + \frac{\pi}{2}$,

A — tebranish amplitudasi,

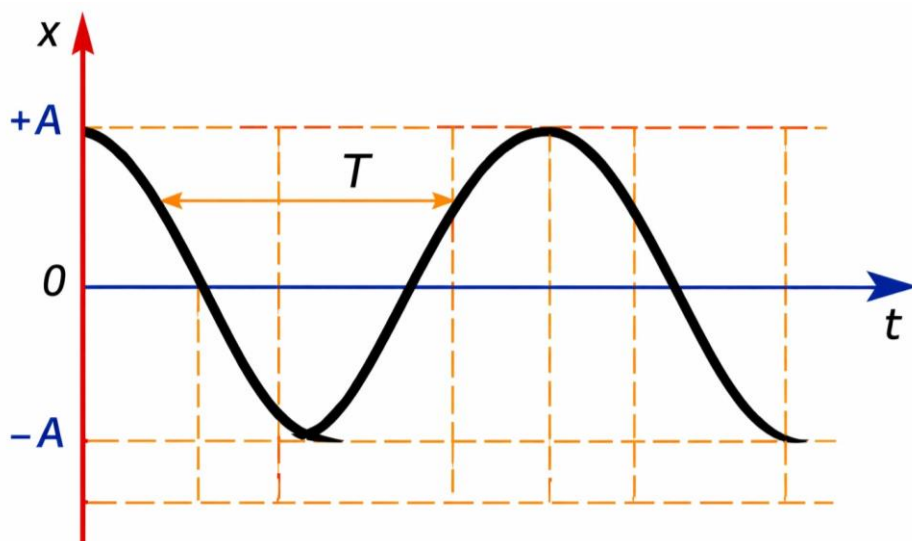
ω — siklik chastota,

α — boshlang‘ich faza bo‘lib, ular ixtiyoriy konstantalardir.

Shunday qilib, siljish x vaqtga bog‘liq holda sinus yoki kosinus qonunlari bo‘yicha o‘zgaradi. Demak,

$$F = kx \quad (3)$$

ko‘rinishidagi qaytaruvchi kuch ta’siri ostida bo‘lgan sistema **garmonik tebranish** harakatini bajaradi.



1-rasm. Garmonik tebranishining grafigi.

Gorizontaal o‘q yo‘nalishida vaqt (t) ko‘rsatiladi, vertikal o‘q yo‘nalishida esa siljish (x) ifodalanadi. Kosinus funksiyasining qiymatlari $(-A)$ dan $(+A)$ gacha bo‘lgan oraliqda joylashadi.

Sistemaning muvozanat holatidan maksimal og‘ishi tebranish amplitudasi deb yuritiladi. Amplituda doimiy musbat kattalik hisoblanadi va uning miqdori boshlang‘ich og‘ish kattaligiga hamda sistemani muvozanat holatidan chiqaradigan tashqi turtki kuchining qiymatiga bevosita bog‘liq bo‘ladi.

Kosinus (yoki sinus) funksiyasi argumentida ishtirok etuvchi $(\omega t + \alpha)$ ifoda tebranish fazasi deb nomlanadi.

Bu yerda α –vaqtning $t = 0$ lahzasidagi faza qiymatini bildiradi va u boshlang‘ich faza deb ataladi. Boshlang‘ich fazaning miqdori vaqtni hisoblash boshi qanday tanlanganiga bog‘liq bo‘lib, agar vaqt hisoblash boshi o‘zgartirilsa, boshlang‘ich faza qiymati ham mos ravishda o‘zgaradi.

Siljish (x) ning qiymati fazaga 2π ga karrali sonlar qo'shilishi yoki ayirilishiga bog'liq bo'lmaganligi uchun, boshlang'ich fazani har doim moduli bo'yicha π dan kichik qilib tanlash mumkin. Shu bois amaliyotda α ning $-\pi$ va $+\pi$ oralig'idagi qiymatlari ko'rib chiqiladi.

Kosinus funksiyasi 2π davrga ega bo'lgan davriy funksiya bo'lgani uchun garmonik tebranayotgan sistema holatlari ma'lum vaqt oralig'idan so'ng takrorlanadi. Faza 2π ga ortadigan vaqt oralig'i **tebranish davri** T deb ataladi. Bu shart quyidagicha yoziladi:

$$\omega_0(t + T) + \alpha = \omega_0 t + \alpha + 2\pi \quad (4)$$

Bundan tebranish davri:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} \quad (5)$$

hosil bo'ladi.

Birlik vaqt ichidagi tebranishlar soni **tebranish chastotasi** deb ataladi va ν bilan belgilanadi. Chastota bilan davr orasidagi bog'lanish:

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (6)$$

Chastotaning o'lchov birligi sifatida davri 1 s ga teng bo'lgan tebranish chastotasi qabul qilingan. Ushbu o'lchov birligi gers (Hz) deb ataladi. Chastotaning yirik birliklari: **kilogers (kHz)** va **megagers (MHz)**.

Siklik (aylanish) chastota odatdagi chastota orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} \quad (7)$$

$$\omega_0 = 2\pi\nu \quad (8)$$

Demak, ω_0 son jihatdan 2π ga ko'paytirilgan tebranishlar sonini (sekundiga) ifodalaydi. Agar siljish:

$$x = A \cos (\omega_0 t + \alpha) \quad (9)$$

ko'rinishda berilgan bo'lsa, uni vaqt bo'yicha differensiallab tezlikni topamiz:

$$v = \frac{dx}{dt} = -A\omega_0 \sin (\omega_0 t + \alpha) \quad (10)$$

Shundan anglashiladiki, tezlik ham garmonik qonun asosida o'zgaradi va uning amplitudasi $A\omega_0$ ga teng bo'ladi. (1) va (10) formulalarni taqqoslab, tezlik siljishdan faza bo'yicha $\pi/2$ ga ilgarilashini ko'ramiz.

Tezlanish esa (10) ni yana bir marta differensiallash orqali aniqlanadi:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega_0^2 \cos (\omega_0 t + \alpha) = A\omega_0^2 \cos (\omega_0 t + \alpha + \pi) \quad (11)$$

Bu ifodadan tezlanish siljish bilan teskari fazada ekanligi (ya'ni π ga farq qilishi) kelib chiqadi.

(11) ifodadan ko'rinadiki, tezlanish va siljish o'zaro qarama-qarshi fazada o'zgaradi. Bu esa shuni bildiradiki, siljish x eng katta musbat qiymatga

yetgan paytda tezlanish a maksimal manfiy qiymatni qabul qiladi, aks holatda esa, siljish eng katta manfiy qiymatga ega bo‘lganda tezlanish eng katta musbat qiymat bilan namoyon bo‘ladi.

Har qanday real garmonik tebranish **amplituda** A va **boshlang‘ich faza** α bilan tavsiflanadi. Bu kattaliklar tebranishning boshlang‘ich shartlari – ya’ni $t = 0$ dagi siljish x_0 va boshlang‘ich tezlik v_0 qiymatlari orqali aniqlanadi. Darhaqiqat, (1) va (10) formulalarda $t = 0$ deb olsak, quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$x_0 = A \cos \alpha, \quad v_0 = -A \omega_0 \sin \alpha.$$

Bu tenglamalardan amplituda va boshlang‘ich faza:

$$A = \sqrt{x_0^2 + \frac{v_0^2}{\omega_0^2}} \quad (12)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = - \frac{v_0}{\omega_0 x_0} \quad (13)$$

ko‘rinishida topiladi.

(13) tenglama α ning $(-\pi; +\pi)$ oralig‘ida yotuvchi ikki qiymatini qanoatlantirishi mumkin. Shuning uchun α ni tanlashda $\cos \alpha$ va $\sin \alpha$ ishoralari mos ravishda x_0 va v_0 ning ishoralariga mos kelishini hisobga olib, to‘g‘ri qiymat tanlanadi.

2.2 Garmonik tebranish energiyasi

Kvazielastik kuch konservativ kuchlar turkumiga mansub bo'lganligi tufayli, garmonik tebranish jarayoni davomida sistemaning to'la mexanik energiyasi o'zgarmay, doimiy qiymatda saqlanib qoladi. Tebranish davomida kinetik va potensial energiyalar bir-biriga davriy ravishda aylanib turadi.

Sistema muvozanat holatidan eng katta og'ish nuqtalarida tezlik 0 ga teng bo'ladi, shu bois bu paytda to'la energiya faqat potensial energiya hisobiga teng bo'lib, u maksimal qiymatga erishadi:

$$E = E_{p,\max} = \frac{kA^2}{2} \quad (1)$$

Bu yerda k — elastiklik koeffitsienti, A — tebranish amplitudasi.

Sistema muvozanat holatidan o'tayotganida tezlik maksimal bo'ladi, shuning uchun sistemaning to'la energiyasi maksimal **kinetik energiya** ko'rinishida namoyon bo'ladi:

$$E = E_{k,\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2} = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \quad (2)$$

Bu yerda tezlik amplitudasi $v_{\max} = A\omega_0$. (1) va (2) ifodalar o'zaro teng, chunki

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}.$$

Endi garmonik tebranishda **kinetik** E_k va **potensial** E_p energiyalarning vaqt bo'yicha o'zgarishini ko'rib chiqamiz.

Kinetik energiya:

$$E_k = \frac{m}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 = \frac{mA^2\omega_0^2}{2} \sin^2(\omega_0 t + \alpha). \quad (3)$$

Potensial energiya:

$$E_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{kA^2}{2} \cos^2(\omega_0 t + \alpha) \quad (4)$$

Bu ifodalarni qo'shib va $\omega_0^2 = k/m$ munosabatni hisobga olib, to'la energiyani topamiz:

$$E = E_k + E_p = \frac{kA^2}{2} = \text{const} \quad (5)$$

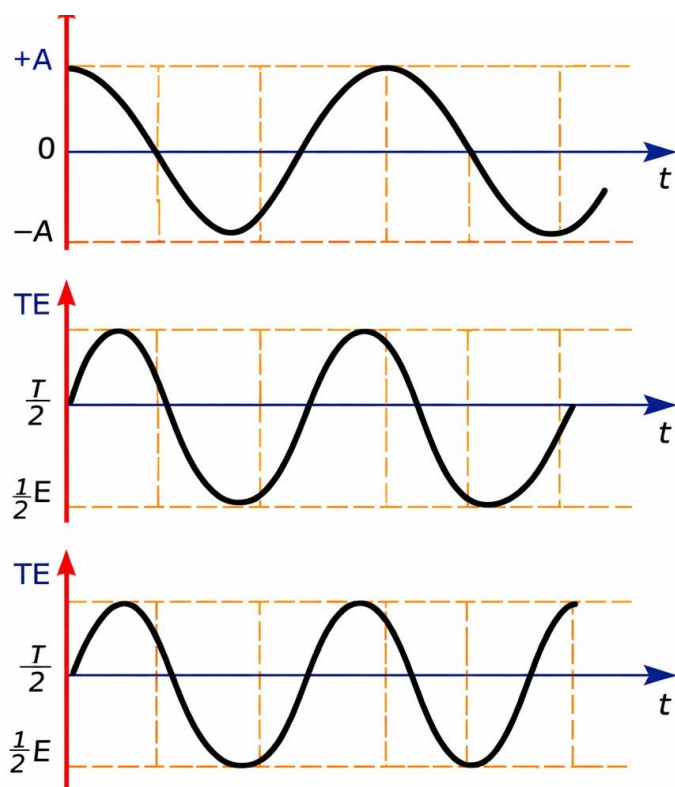
Demak, garmonik tebranishning to'la energiyasi vaqt davomida o'zgarmaydi.

Trigonometrik formulalardan foydalanib, energiyalarni quyidagicha yozish mumkin:

$$E_k = \frac{E}{2} [1 - \cos(2\omega_0 t + 2\alpha)] = E \sin^2(\omega_0 t + \alpha) \quad (6)$$

$$E_p = \frac{E}{2} [1 + \cos(2\omega_0 t + 2\alpha)] = E \cos^2(\omega_0 t + \alpha) \quad (7)$$

Bu natijalar kinetik va potensial energiyalar **qarama-qarshi fazalarda o'zgarishini**, ularning yig'indisi esa doimiy ekanini ko'rsatadi.



2-rasm. Kinetik E_k va potensial E_p energiyalar

Bu yerda E – sistemaning **to‘la mexanik energiyasi**. (6) va (7) formulalardan ko‘rinadiki, **kinetik** E_k va **potensial** E_p energiyalar $2\omega_0$ chastota bilan, ya’ni tebranishning asosiy chastotasidan ikki marta katta chastota bilan o‘zgaradi.

2-rasmda x , E_k va E_p funksiyalarining grafiklari o‘zaro taqqoslab ko‘rsatiladi. Ma’lumki,

$$\langle \sin^2 \rangle = \langle \cos^2 \rangle = \frac{1}{2}$$

E_k ning o‘rtacha qiymati E_p ning o‘rtacha qiymatiga teng bo‘lib, $E_k = E_p = \frac{E}{2}$ ga teng.

2.3 Matematik mayatnik

Matematik mayatnik deganda vaznsiz hamda cho‘zilmaydigan ipga osilgan, massasi bitta nuqtada jamlangan ideal jismdan iborat sistema tushuniladi. Amaliy nuqtai nazardan esa, uzun va ingichka ipga ilingan kichik massali og‘ir sharcha matematik mayatnik modeliga yetarlicha yaqinlashuvchi fizik tizim sifatida qaraladi.

Muvozanat holatidan mayatnikning og‘ishi φ burchak orqali ifodalanadi. Mayatnik muvozanat holatidan og‘dirilganda, uni yana muvozanat holatiga qaytarishga intiluvchi **aylantiruvchi moment** vujudga keladi. Bu moment qiymati:

$$M = -mgl\sin \varphi \quad (1)$$

bu yerda,

m — mayatnik massasi,

l — ip uzunligi,

g — erkin tushish tezlanishi.

Manfiy ishora aylantiruvchi momentning burchak og‘ishiga qarama-qarshi yo‘nalganini, ya’ni mayatnikni muvozanat holatiga qaytarishga intilishini ko‘rsatadi. Shu sababli, bu moment kvazielastik xarakterga ega bo‘lib, garmonik tebranishlarning yuzaga kelishiga sabab bo‘ladi.

Mayatnikning aylanma harakati uchun dinamika tenglamasini yozamiz.
Burchak tezlanish

$$\ddot{\varphi} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (3)$$

bilan belgilanadi. Matematik mayatnikning osilish nuqtasiga nisbatan inersiya momenti

$$I = ml^2 \quad (4)$$

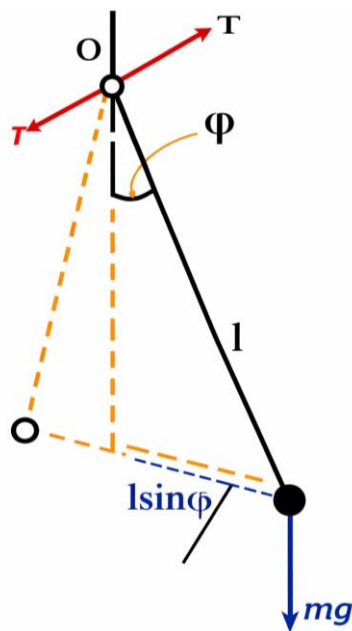
Aylanma harakatning asosiy tenglamasi $M = I\ddot{\varphi}$ dan va (1) dagi $M = -mgl\sin\varphi$ ifodadan foydalanib, quyidagini olamiz:

$$ml^2 \frac{d^2\varphi}{dt^2} = -mgl\sin\varphi \quad (5)$$

yoki soddalashtirib:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{g}{l}\sin\varphi = 0 \quad (6)$$

Bu matematik mayatnikning **nochiziqli** tebranish tenglamasidir.



3-rasm. Matematik mayatnik.

Oldingi tenglamani quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{g}{l} \sin \varphi = 0 \quad (7)$$

Kichik burchakli tebranishlar uchun $\varphi \ll 1$ bo‘lganda $\sin \varphi \approx \varphi$ yaqinlashuvdan foydalaniladi. Shunda (7) tenglama chiziqlashib,

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{g}{l} \varphi = 0 \quad (8)$$

ko‘rinishga keladi.

Bu yerda

$$\omega_0^2 = \frac{g}{l} \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (9)$$

deb belgilasak, (7) dan quyidagini olamiz:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2 \varphi = 0. \quad (10)$$

Bu tenglama matematik mayatnikning kichik tebranishlari **garmonik tebranish** ekanini ifodalaydi.

(10) tenglama tuzilishi jihatidan prujinaga osilgan sharcha uchun yoziladigan

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0 \quad (11)$$

tenglamaga aynan o'xshashdir. Shuning uchun uning yechimi garmonik ko'rinishda bo'ladi:

$$\varphi = a \cos(\omega_0 t + \alpha) \quad (12)$$

Bundan ko'rinadiki, kichik tebranishlar sharoitida matematik mayatnikning og'ish burchagi **garmonik** qonun asosida vaqt bo'yicha o'zgaradi.

(10) dan ko'rinadiki, matematik mayatnikning siklik chastotasi faqat ip uzunligi l va erkin tushish tezlanishi g ga bog'liq bo'lib, massaga bog'liq emas:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (13)$$

Shundan matematik mayatnikning tebranish davri quyidagicha aniqlanadi:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (14)$$

2.4 Fizik mayatnik

Inertsia markazi bilan ustma-ust tushmaydigan qo'zg'almas nuqta atrofida tebrana oladigan qattiq jism **fizik mayatnik** deb ataladi. Muvozanat holatida mayatnikning C inertsia markazi osilish nuqtasi O dan pastda, ular orqali o'tuvchi vertikal chiziq ustida yotadi.

Mayatnik muvozanat holatidan φ burchakka ogʻganda, uni muvozanat holatiga qaytarishga intiluvchi **aylantiruvchi moment** hosil boʻladi:

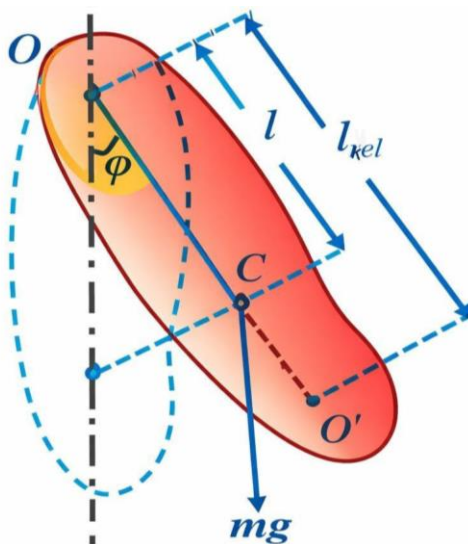
$$M = -mgl \sin \varphi \quad (1)$$

bu yerda

m — mayatnik massasi,

l — osilish nuqtasidan inertsia markazigacha boʻlgan masofa.

Manfiy ishora momentning burchak ogʻishiga qarama-qarshi yoʻnalganini bildiradi.



4-rasm. Fizik mayatnik

Osilish nuqtasi orqali oʻtuvchi oʻqqa nisbatan mayatnikning **inersiya momenti** J bilan belgilanadi. Aylanma harakat dinamikasining tenglamasi:

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -mgl \sin \varphi \quad (2)$$

Kichik burchakli tebranishlar ($\sin \varphi \approx \varphi$) uchun (2) tenglama chiziqlashadi va garmonik tebranish tenglamasiga keladi.

Kichik burchakli tebranishlar ($\sin \varphi \approx \varphi$) uchun fizik mayatnikning harakat tenglamasi quyidagi ko‘rinishni oladi:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega_0^2\varphi = 0. \quad (3)$$

Bu yerda siklik chastota ω_0 quyidagicha aniqlanadi:

$$\omega_0^2 = \frac{mgl}{J} \quad (4)$$

Demak, fizik mayatnik kichik tebranishlarda **garmonik tebranish** bajaradi va uning chastotasi jismning massasi, inertsia markazining joylashuvi hamda osilish nuqtasiga nisbatan inertsia momentiga bog‘liq bo‘ladi.

(4) dan fizik mayatnikni tebranish davri:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}} \quad (5)$$

(6) va (5) formulalarni solishtirsak, uzunligi

$$l_{\text{kel}} = \frac{J}{ml} \quad (6)$$

ga teng bo'lgan matematik mayatnikning tebranish davri mazkur fizik mayatnikning tebranish davriga teng bo'ladi. Bu yerda (l_{kel}) kattalik berilgan fizik mayatnikning keltirilgan uzunligi deb yuritiladi.

Demak, **keltirilgan uzunlik** — tebranish davri berilgan fizik mayatnik davriga teng bo'lgan ekvivalent matematik mayatnik uzunligidir.

Agar tebranish davri T va keltirilgan uzunlik l_{kel} ma'lum bo'lsa, matematik mayatnik formulasi orqali erkin tushish tezlanishini topish mumkin:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l_{kel}}{g}} \Rightarrow g = \frac{4\pi^2 l_{kel}}{T^2}.$$

Bu ifoda tajriba asosida g ni aniqlashda qo'llaniladi.

2.5 Titrash

Bir yo'nalishda tarqaluvchi, chastotalari o'zaro juda kichik farq qiluvchi ikkita garmonik tebranish qo'shilganda maxsus hodisa – **titrash** yuzaga keladi. Bunday holatda natijaviy harakat amplitudasi vaqt bo'yicha pulsatsiyalanuvchi garmonik tebranish sifatida namoyon bo'ladi.

Faraz qilaylik, birinchi tebranishning burchak chastotasi ω , ikkinchisining esa $\omega + \Delta\omega$ bo'lsin. Shartga ko'ra:

$$\Delta\omega \ll \omega$$

Ikkala tebranish amplitudasi bir xil bo'lib, *a*ga teng deb olinadi. Chastotalar orasidagi farq kichik bo'lganligi sababli vaqtning boshlang'ich onini shunday tanlash mumkinki, boshlang'ich fazalar nolga teng bo'ladi. Ya'ni, $t = 0$ da ikkala tebranish ham maksimal musbat qiymatga ega bo'ladi.

Shunda tebranish tenglamalari:

$$x_1 = a \cos \omega t$$

$$x_2 = a \cos (\omega + \Delta\omega)t$$

Bu ikki tebranishni qo'shib, kosinuslar yig'indisi formulasi qo'llanadi:

$$x = x_1 + x_2$$

Natijada:

$$x = 2a \cos \left(\frac{\Delta\omega}{2} t \right) \cos \left(\omega t + \frac{\Delta\omega}{2} t \right)$$

$$\Delta\omega \ll \omega$$

bo'lgani sababli yuqori chastotali ko'paytuvchida $\frac{\Delta\omega}{2}$ ni e'tiborga olmaslik mumkin va ifoda taxminan:

$$x \approx 2a \cos \left(\frac{\Delta\omega}{2} t \right) \cos \omega t$$

ko'rinishga keladi.

Bu ifodadan ko'rinadiki, natijaviy tebranish:

- asosiy chastotasi ω ga teng,
- amplitudasi esa vaqt bo'yicha o'zgaruvchi kattalikdir.

Amplituda quyidagicha aniqlanadi:

$$A(t) = 2a \left| \cos \left(\frac{\Delta\omega}{2} t \right) \right|$$

Demak, amplituda sekin o'zgaruvchi kosinus qonuni bo'yicha pulsatsiyalanadi.

Shunday qilib, **titrash chastotasi** qo'shilayotgan tebranishlar chastotalari ayirmasiga teng:

$$\omega_{\text{titrash}} = \Delta\omega$$

yoki oddiy chastotalarda:

$$\nu_{\text{titrash}} = | \nu_1 - \nu_2 |$$

Muhim jihat shundaki, amplituda nafaqat kattalik jihatdan o'zgaradi, balki fazaga ham ta'sir ko'rsatadi. Amplituda qo'shni maksimumlari orasida og'ishlar qarama-qarshi ishoraga ega bo'ladi, ya'ni faza 180° ga o'zgaradi.

2.6 So'nuvchi tebranishlar

Garmonik tebranishlar tenglamasini keltirib chiqarishda tebranayotgan nuqtaga faqat kvazielastik kuch ta'sir ko'rsatadi, degan faraz qabul qilinadi. Ammo amalda mavjud bo'lgan real tebranuvchi sistemalarda har doim turli qarshilik kuchlari ishtirok etadi va aynan shu kuchlar ta'sirida sistemaning mexanik energiyasi bosqichma-bosqich kamayib boradi. Agar sarflanayotgan energiya tashqi kuchlarning bajargan ishi hisobidan doimiy ravishda to'ldirib turilmasa, tebranish jarayoni sekin-asta so'nib boradi.

Erkin (xususiy) soʻnuvchi tebranishlar tashqi kuchlar ishtirokisiz yuzaga keladi. Bu holatda sistema muvozanat vaziyatidan chiqarilgandan yoki unga boshlangʻich turtki berilgandan soʻng, oʻz holicha qoldiriladi va unga faqat kvazielastik kuch hamda atrof-muhitning qarshilik kuchi taʼsir etadi.

Kichik tebranishlar holida sistema tezligi ham kichik boʻladi. Kichik tezliklarda qarshilik kuchi tezlikka proporsional boʻlib, quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$f_r = -r v \quad (1)$$

bu yerda r —qarshilik koeffitsienti. Manfiy ishora qarshilik kuchining tezlik vektori yoʻnalishiga qarama-qarshi ekanligini bildiradi.

Tebranayotgan jism uchun Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan harakat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx - r \frac{dx}{dt}$$

Ushbu tenglamani quyidagi standart koʻrinishga keltiramiz:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (2)$$

bu yerda quyidagi belgilashlar kiritilgan:

$$2\beta = \frac{r}{m} \quad (3)$$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} \quad (4)$$

Bu yerda ω_0 — muhit qarshiligi mavjud bo'lmagan ($r = 0$) holatda sistemaning erkin tebranish chastotasidir. Mazkur chastota sistema **xususiy tebranish chastotasi** deb ataladi.

So'navchi tebranishlar jarayonida sistemaning mexanik energiyasi muhit qarshiligini yengishga sarflanadi. Agar yuzaga kelayotgan ushbu energiya yo'qotilishi tashqi manba hisobidan uzluksiz ravishda qoplab borilsa, tebranishlar so'nmaydigan holatga o'tadi. Bunday sharoitda tashqi turtkilar sistema tebranishlari bilan faza va vaqt jihatidan uyg'un holda berilishi lozim; aks holda, ko'rsatilgan ta'sir tebranish amplitudasini kamaytirishi yoki hatto ularni butunlay to'xtatib qo'yishi mumkin.

Agar tebranuvchi sistema tashqi ta'sirni ham o'zi tartibga solib, energiya berilishini o'z harakati bilan moslashtirib tursa, bunday sistema avtotebranuvchi sistema deb ataladi. Ushbu sistema hosil qiladigan barqaror, so'nmas tebranishlar esa **avtotebranishlar** deb ataladi.

3. TO 'LQINLAR

3.1 To'lqinlarning elastik muhitda tarqalishi.

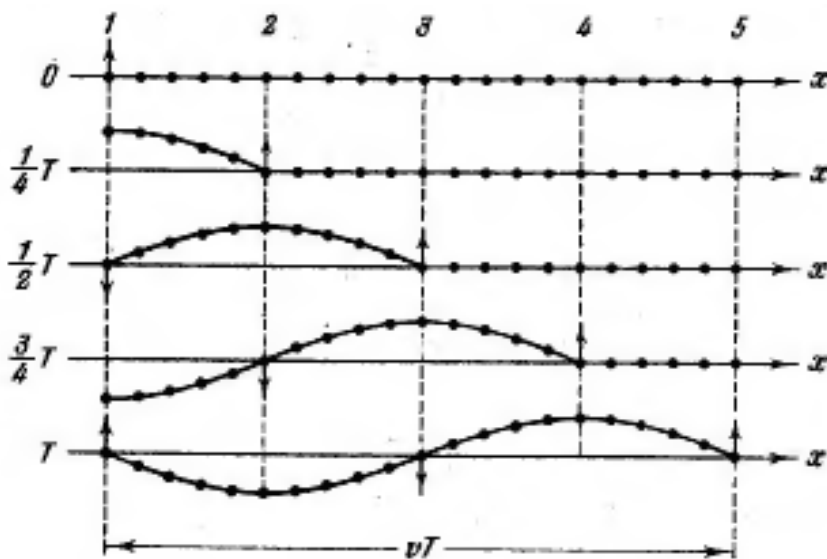
Agar elastik muhitning (qattiq, suyuq yoki gaz holatdagi) biror nuqtasidagi zarralar tebrantirilsa, zarralar o'rtasidagi o'zaro ta'sir natijasida bu tebranishlar muhit bo'ylab ma'lum tezlik bilan tarqala boshlaydi. Tebranishlarning fazoda tarqalish jarayoni **to'lqin** deb ataladi.

To'lqin tarqalayotgan muhit zarralari to'lqin bilan birga ko'chmaydi, balki faqat o'z muvozanat holatlari atrofida tebranadi. Zarralarning tebranish yo'nalishiga qarab to'lqinlar **bo'ylama** va **ko'ndalang** to'lqinlarga bo'linadi.

Bo'ylama to'lqinda muhit zarralari to'lqin tarqalish yo'nalishi bo'ylab tebranadi. Ko'ndalang to'lqinda esa zarralar to'lqin tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar yo'nalishda tebranadi. Mexanik ko'ndalang to'lqinlar faqat siljishga qarshilik ko'rsatadigan muhitlarda vujudga keladi. Shu sababli suyuq va gazsimon muhitlarda faqat bo'ylama to'lqinlar hosil bo'ladi, qattiq muhitlarda esa bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlar mavjud bo'lishi mumkin.

Bir-biridan $\frac{vT}{4}$ masofada, ya'ni chorak tebranish davrida to'lqin bosib o'tadigan yo'lga teng masofada joylashgan zarralar 1, 2, 3 va hokazo sonlar bilan belgilangan. Rasmda nol vaqt onida to'lqin o'q bo'ylab chapdan o'ngga tarqalib, 1-zarraga yetadi va natijada bu zarra o'zidan keyingi zarralarni ergashtirgan holda yuqoriga qarab harakatlana boshlaydi.

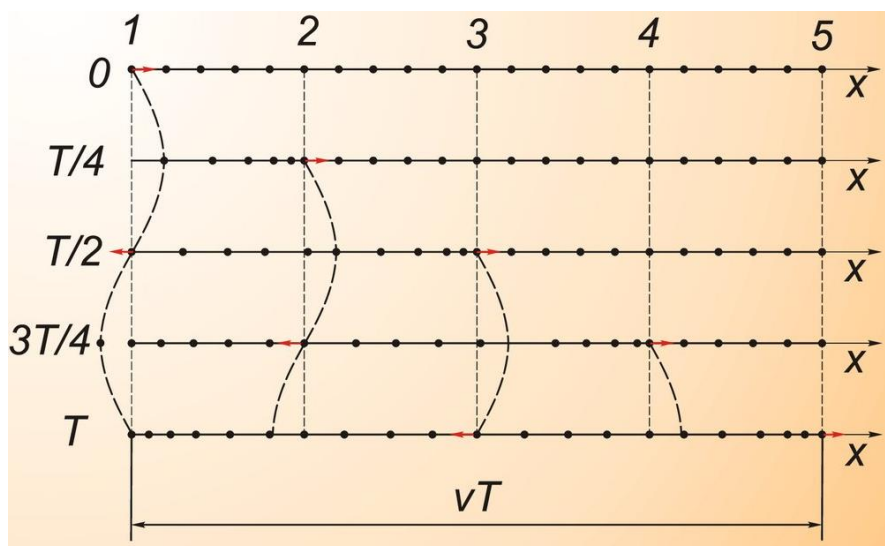
Muxitda ko'ndalang to'lqinlar tarqalgan vaqtdagi zarralarning harakati 5 – rasmda ko'rsatilgan.



5-rasm. Ko'ndalang to'lqin tarqalishi.

Chorak tebranish davri o'tgach, 1-zarra maksimal yuqori holatga yetadi, shu paytda 2-zarra muvozanat holatidan siljiy boshlaydi. Yana bir chorak davr o'tgach, 1-zarra yuqoridan pastga qarab harakatlanib muvozanat holatidan o'tadi, 2-zarra eng yuqori chetki holatiga yetadi, 3-zarra esa muvozanat holatidan chiqib yuqoriga qarab siljiy boshlaydi.

Vaqt T ga teng bo'lganda, 1-zarra to'liq tebranish siklini tugatib, dastlabki holatiga qaytadi. Shu vaqt ichida to'lqin vT masofani bosib o'tib, 5-zarraga yetib keladi. 5-rasmda muhitda bo'ylama to'lqin tarqalayotganda zarralarning harakatlanishi ko'rsatilgan. Bunda bo'ylama to'lqindagidek yuqoriga pastga siljishlar o'rniga o'ngga va chapga siljishlar yuzaga keladi. 6-rasmdan ko'rinib turibdiki, bo'ylama to'lqin tarqalayotganda muhitda zarralarni to'lqinning tarqalish yo'nalishi bo'ylab v tezlik bilan ko'chuvchi navbatma-navbat quyuqlanib va siyraklanib hamda ketma-ket ravishda quyuqlanish va siyraklanish sohalarini hosil qiladi (rasmda zarralarning quyuqlanish qismi punktir chiziq orqali ifodalangan).



6–rasm. Bo‘ylama to‘lqin tarqalishi.

To‘lqin mavjud ekan, muhitning zarralari o‘zlarining muvozanat holatlari atrofida doim tebranib turadi. Bunda 4- va 5-rasmlardan ko‘rinib turibdiki, turli zarralar faza bo‘yicha siljigan holda tebranar ekan. Bir-biridan vT masofada turgan zarralar bir xil fazada tebranadi. Bir xil fazada tebranayotgan o‘zaro yaqin zarralar orasidagi masofa λ to‘lqin uzunligi deyiladi.

To‘lqin uzunligi to‘lqinning bir tebranish davri davomida tarqalgan masofasiga teng bo‘lib, quyidagicha ifodalanadi:

$$\lambda = vT \quad (1)$$

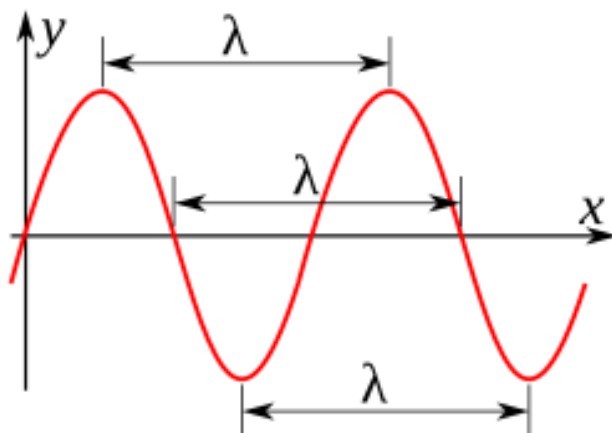
Agar bu munosabatda T o‘rniga $\frac{1}{\nu}$ ni qo‘ysak, quyidagi ifodani olamiz:

$$\lambda\nu = v \quad (2)$$

Mazkur munosabatni quyidagi tarzda fikr yuritish orqali ham keltirib chiqarish mumkin. Bir sekund davomida to‘lqin manbai ν marta tebranadi va har bir tebranish natijasida muhitda bittadan “do‘nglik” hamda bittadan “chuqurlik” hosil bo‘ladi. Manba ν ta tebranishni amalga oshirguncha, birinchi hosil

bo'lgan “do'nglik” vT masofani bosib o'tadi. Shunday qilib, vT uzunlikka teng oraliqda v ta “do'nglik” va v ta “chuqurlik” joylashgan bo'ladi.

Amalda faqat x o'qi bo'ylab joylashgan zarralar emas, balki ma'lum hajmdagi zarralar to'plami tebranadi. To'lqin jarayoni tebranish manbaidan tarqalib, fazoning yangi qismlarini ketma-ket egallab boradi. Tebranishlar vaqtning t paytida yetib kelgan nuqtalarning geometrik o'rni **to'lqin fronti** deb ataladi. To'lqin fronti to'lqin jarayoni tarqalgan fazo qismini tebranishlar hali yuzaga kelmagan qismdan ajratib turuvchi sirtini ifodalaydi.



7-rasm.

Bir xil fazada tebranayotgan nuqtalarning geometrik o'rni to'lqin sirti deb ataladi. To'lqin sirtini to'lqin jarayoni kechayotgan fazoning istalgan nuqtasi orqali o'tkazish mumkin. Vaqtning har bir oniga faqat bitta to'lqin fronti mos keladi, biroq to'lqin sirlari son jihatidan cheksiz miqdorda bo'ladi.

To'lqin sirlari istalgan shaklda bo'lishi mumkin. Eng sodda holda ular tekislik yoki sfera shaklida bo'ladi. Bu hollarda to'lqin mos ravishda yassi yoki sferik to'lqin deyiladi. Yassi to'lqinda to'lqin sirlari bir-biriga parallel tekisliklardan, sferik to'lqinda esa, kontsentrik sferalardan iborat bo'ladi.

3.2 Yassi va sferik to‘lqinlar tenglamalari.

Tebranayotgan nuqtaning siljishini uning x, y, z koordinatalari hamda t vaqtning funksiyasi sifatida ifodalovchi tenglama

$$\xi = \xi(x, y, z, t) \quad (1)$$

to‘lqin tenglamasi deb ataladi. (1) ifoda vaqt bo‘yicha ham, fazoviy koordinatalar bo‘yicha ham davriy bo‘lishi kerak.

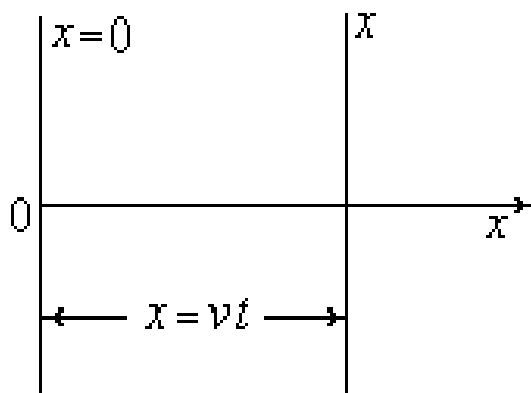
ξ ning vaqtga nisbatan davriyligi x, y, z koordinatalarga ega nuqtaning tebranishi orqali aniqlanadi. Uning koordinatalar bo‘yicha davriyligi esa birbiridan λ masofada joylashgan nuqtalarning bir xil tebranishida namoyon bo‘ladi.

Tebranishlar garmonik xarakterga ega deb faraz qilib, yassi to‘lqin uchun ξ funksiyaning ko‘rinishini aniqlaymiz. Masalani soddalashtirish maqsadida koordinata o‘qlarini shunday tanlaymizki, x o‘qi to‘lqinning tarqalish yo‘nalishi bilan mos kelsin. Bu holda to‘lqin sirtlari x o‘qiga perpendikulyar bo‘ladi va to‘lqin sirtining barcha nuqtalari bir xil tebranganligi sababli ξ faqat x va t ga bog‘liq bo‘ladi:

$$\xi = \xi(x, t)$$

Faraz qilaylik $x = 0$ tekislikda (8-rasm) yotuvchi nuqtalar tebranishi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘lsin:

$$\xi(0, t) = a \cos \omega t.$$



8-rasm. $x=0$ tekislikda yotuvchi nuqtalarning tebranishi

Endi x ning ixtiyoriy qiymatiga mos tekislikdagi nuqtalarning tebranishini aniqlaymiz. To‘lqin $x = 0$ tekislikdan x tekislikkacha bo‘lgan masofani bosib o‘tishi uchun

$$\tau = \frac{x}{v}$$

vaqt talab etiladi, bu yerda v – to‘lqinning tarqalish tezligi. Demak, x tekislikda joylashgan nuqtalarning tebranishi $x = 0$ tekislikdagi tebranishdan vaqt bo‘yicha τ ga kechikadi va quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$\xi(x, t) = a \cos[\omega(t - \tau)] = a \cos\left(\omega t - \frac{\omega x}{v}\right) \quad (2)$$

Shunday qilib, yassi to‘lqin tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\xi = a \cos\left(\omega t - \frac{\omega x}{v}\right).$$

(2) tenglamada ξ kattalik (x) koordinataga ega bo‘lgan istalgan nuqtaning (t) vaqt momentidagi siljishini ifodalaydi. Mazkur tenglama keltirib chiqarilganda tebranish amplitudasi barcha nuqtalarda bir xil deb qabul

qilingan. Yassi to‘lqin uchun bunday shart faqat to‘lqin energiyasi muhit tomonidan yutilmagan holatdagina bajariladi.

Agar fazani o‘zgarmas deb olib,

$$\omega t - \frac{\omega x}{v} = \text{const} \quad (3)$$

deb faraz qilsak, u holda x va t orasidagi bog‘lanishni topish mumkin. (3) ifodani differensiallab,

$$-\frac{\omega}{v} dx + \omega dt = 0 \quad \text{yoki}$$

$$\frac{dx}{dt} = v \quad (4)$$

ni hosil qilamiz. Demak, (2) tenglamadagi v fazaning ko‘chish tezligini ifodalaydi va **faza tezligi** deb ataladi. (4) dan ko‘rinadiki, to‘lqin x ning ortish yo‘nalishida tarqaladi.

Qarama-qarshi yo‘nalishda tarqaluvchi to‘lqin tenglamasi esa quyidagicha yoziladi:

$$\xi = a \cos \left(\omega t + \frac{\omega x}{v} \right) \quad (5)$$

Haqiqatan ham, bu tenglama uchun fazani o‘zgarmas deb olib differensiallasak, $\frac{dx}{dt} = -v$ bo‘lishi aniqlanadi, ya’ni to‘lqin x ning kamayish yo‘nalishida tarqaladi.

Yassi to‘lqin tenglamasiga simmetrik ko‘rinish berish maqsadida **to‘lqin soni** deb ataluvchi k kattalik kiritiladi:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (6)$$

To‘lqin soni k , aylanish chastotasi ω va faza tezligi v orasida quyidagi bog‘lanish mavjud:

$$v = \frac{\omega}{k} \quad (7)$$

Bu munosabatni (2) ga qo‘ysak, yassi to‘lqin tenglamasining quyidagi ko‘rinishini olamiz:

$$\xi = a \cos(\omega t - kx) \quad (8)$$

Qarama – qarshi yo‘naluvchi to‘lqin tenglamasi (8) dan faqat kx oldidagi ishorasi bilan farq qiladi.

Endi sferik to‘lqin tenglamasini tahlil qilamiz. Har qanday real to‘lqin manbai chekli o‘lchamlarga ega bo‘lishiga qaramay, manbadan yetarlicha uzoq masofalarda to‘lqin jarayonini o‘rganishda uni nuqtaviy manba sifatida qabul qilishi mumkin. Agar to‘lqin barcha yo‘nalishlarda bir xil tezlik bilan tarqaladigan bo‘lsa, bunday nuqtaviy manba hosil qilgan to‘lqin **sferik to‘lqin** deb ataladi.

Faraz qilaylik, manbaning tebranish fazasi ωt ga teng bo‘lsin. Bunday holda radiusi r ga teng bo‘lgan sirt ustidagi nuqtalar

$$\omega(t - r/v)$$

faza bilan tebranadi, chunki to‘lqinning r masofani bosib o‘tishi uchun $\tau = r/v$ vaqt talab etiladi. Sferik to‘lqinda, hatto energiya yutilishi mavjud bo‘lmasa ham, amplituda manbadan uzoqlashgan sari $1/r$ qonuniga muvofiq kamayib boradi.

Shu bois sferik to‘lqin tenglamasi quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$\xi = a/r \cdot \cos(\omega t - \omega r/v) \quad (9)$$

Bu yerda a — o‘zgarmas kattalik bo‘lib, uning qiymati manbadan birlik masofadagi amplitudaga teng. a ning o‘lchamligi amplituda o‘lchamligining uzunlik o‘lchamligiga ko‘paytmasi bilan aniqlanadi.

3.3 To‘lqin tenglamasi

Ma’lumki, har qanday to‘lqin tenglamasi mos keluvchi differensial tenglamaning yechimi sifatida aniqlanadi. To‘lqin tenglamasini keltirib chiqarish maqsadida yassi to‘lqinni ifodalovchi $\xi = a \cos \omega t$ funksiyaning koordinatalar hamda vaqt bo‘yicha ikkinchi tartibli xususiy hosilalarini o‘zaro taqqoslaymiz.

Buning uchun $\xi(x, y, z, t) = a \cos \omega t$ ifodani har bir mustaqil o‘zgaruvchi bo‘yicha ikki marta differensiallab, quyidagi natijaga erishamiz:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = -\omega^2 a \cos(\omega t - kr) \quad (1)$$

Bu tenglamaning x , y va z o‘qlari bo‘yicha mos ifodalari ham xuddi shu tartibda aniqlanadi:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = -k^2 \cos(\omega t - kr)$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} = -k^2 \cos(\omega t - kr)$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = -k^2 \cos(\omega t - kr) \quad (2)$$

(2) tenglamalarni o‘zaro qo‘shsak, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} = -k^2 \xi \quad (3)$$

Endi (1) va (3) tenglamalarni taqqoslab, quyidagi munosabatni topamiz:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{\omega^2}{k^2} \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} \right)$$

$v = \frac{\omega}{k}$ ekanligini hisobga olsak, quyidagi tenglamaga kelamiz:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = v^2 \left(\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \xi}{\partial z^2} \right).$$

Bu yerda

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

— **Laplas operatori** hisoblanadi. Shunday qilib,

$$\nabla^2 \xi = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \quad (4)$$

ifoda **to‘lqin tenglamasi** deb ataladi.

3.4 Elastik to‘lqin energiyasi

Yassi bo‘ylama to‘lqin tarqalayotgan muhitda shunday kichik elementar hajm ΔV ajratib olamizki, ushbu hajmning barcha nuqtalarida deformatsiya va harakat tezliklari bir xil bo‘lsin. Ularni mos ravishda $\frac{\partial \xi}{\partial x}$, $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ bilan belgilaymiz.

Elastik deformatsiya potensial energiyasi

$$E_p = \frac{E \varepsilon^2}{2} \Delta V$$

formula bilan aniqlanadi. Bu yerda

$$\varepsilon = \frac{\partial \xi}{\partial x}$$

– nisbiy uzayish, E esa **Yung modulidir**. Shuning uchun ajratib olingan hajmning potensial energiyasi

$$\Delta E_p = \frac{E}{2} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 \Delta V$$

ko‘rinishga ega bo‘ladi.

Bo‘ylama elastik to‘lqinlarning faza tezligi Yung modulining muhit zichligiga nisbatan olingan kvadrat ildizga teng, shunga binoan

$$E = \rho v^2$$

ko‘rinishda ifodalash mumkin (ρ — muhit zichligi, v — to‘lqinning faza tezligi). Bu holda potensial energiya quyidagicha yoziladi:

$$\Delta E_p = \frac{\rho v^2}{2} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 \Delta V \quad (1)$$

Qaralayotgan hajm kinetik energiyaga ham ega bo‘ladi:

$$\Delta E_k = \frac{\rho}{2} \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right)^2 \Delta V \quad (2)$$

Bu yerda $\rho \Delta V$ — hajmdagi massa, $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ esa zarralarning tezligidir.

To‘la energiya potensial va kinetik energiyalar yig‘indisidan iborat bo‘lib,

$$\Delta E = \Delta E_p + \Delta E_k$$

ga teng. Energiya ΔV hajmga nisbatan taqsimlansa, energiya zichligi quyidagicha aniqlanadi:

$$u = \frac{\rho}{2} \left[v^2 \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right)^2 \right] \quad (3)$$

Yassi to‘lqin tenglamasini t va x bo‘yicha differensiallasak,

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = -a\omega \sin(\omega t - kx), \quad \frac{\partial \xi}{\partial x} = a \sin(\omega t - kx)$$

ifodalarni olamiz. Ularni (3) formulaga qo‘ysak, energiya zichligi

$$u = \rho a^2 \omega^2 \sin^2(\omega t - kx) \quad (4)$$

ko‘rinishda bo‘lishi aniqlanadi.

Ko'ndalang to'lqin uchun ham energiya zichligi xuddi shu ko'rinishda ifodalanadi.

(4) ifodadan anglashiladiki, vaqtning har bir aniq momentida energiya zichligi fazoning turli nuqtalarida bir xil bo'lmaydi. Muayyan bir nuqtaning o'zida esa energiya zichligi vaqtga bog'liq ravishda sinus kvadrati qonuni asosida o'zgaradi. Sinus kvadrat funksiyasining o'rtacha qiymati $1/2$ ga teng ekanligini hisobga olsak, muhitning har bir nuqtasidagi energiya zichligining vaqt bo'yicha o'rtacha qiymati quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\bar{u} = \frac{1}{2} \rho a^2 \omega^2 \quad (5)$$

(4) va (5) ifodalardan ko'rinadiki, energiya zichligi va uning o'rtacha qiymati muhit zichligiga, chastota kvadratiga hamda to'lqin amplitudasi kvadratiga proportsionaldir. Bu munosabat faqat yassi to'lqinlar uchun emas, balki boshqa turdagi to'lqinlar uchun ham o'rinlidir.

Demak, to'lqin tarqalayotgan muhit qo'shimcha energiya zaxirasiga ega bo'ladi. Bu energiya tebranishlar manbaidan muhitning turli nuqtalariga to'lqinning o'zi orqali uzatiladi, ya'ni to'lqin energiya tashuvchi jarayon sifatida namoyon bo'ladi.

To'lqin biror sirt orqali birlik vaqt ichida tashib o'tkazadigan energiya miqdori **energiya oqimi** Φ deb ataladi. Energiya oqimi skalyar kattalik bo'lib, uning o'lchamligi energiyaning vaqtga nisbatiga, ya'ni quvvat o'lchamligiga tengdir. Shu sababli Φ erg/sekund, vatt va boshqa quvvat birliklarida o'lchanadi.

Energiya oqimi muhitning turli nuqtalarida bir xil bo‘lmasligi, ya’ni intensivligi jihatidan farq qilishi mumkin. Fazoning har xil nuqtalarida energiyaning ko‘chish jarayonini aniqroq tavsiflash maqsadida energiya oqimi zichligi tushunchasi joriy etiladi. Ushbu kattalik berilgan nuqtada energiya tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyar joylashgan birlik yuzadan o‘tadigan energiya oqimiga teng deb qabul qilinadi. Energiya oqimi zichligi vektorining yo‘nalishi energiyaning ko‘chish yo‘nalishi bilan bir xil bo‘ladi.

To‘lqin tarqalish yo‘nalishiga tik joylashgan ΔS yuzadan Δt vaqt davomida ΔE energiya oqib o‘tsin. Ta’rifga ko‘ra energiya oqimi zichligi

$$j = \frac{\Delta E}{\Delta S_{\perp} \Delta t} \quad (6)$$

ko‘rinishda aniqlanadi. Bu yerda $\frac{\Delta E}{\Delta t} = \Delta \Phi - \Delta S_{\text{sirt}}$ orqali o‘tayotgan energiya oqimi bo‘lgani uchun,

$$j = \frac{\Delta \Phi}{\Delta S_{\perp}} \quad (7)$$

ifodani yozish mumkin.

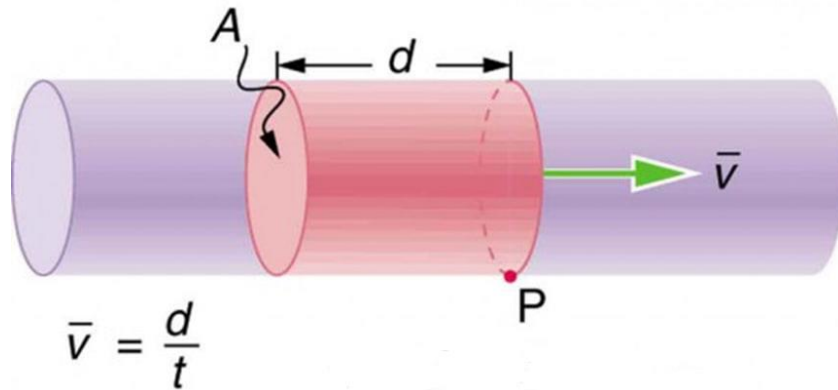
Δt vaqtda ko‘ndalang kesimi ΔS ga va uzunligi $v\Delta t$ ga teng (v – to‘lqinning faza tezligi) silindrik hajm orqali energiya oqib o‘tadi. Agar bu hajm ichida energiya zichligi bir xil deb hisoblansa, u holda

$$\Delta E = u \Delta S v \Delta t$$

bo‘ladi. Ushbu ifodani (6) formulaga qo‘ysak, biz quyidagi natijaga kelimiz:

$$j = uv \quad (8)$$

Energiya oqimi zichligi vektori birinchi marta rus fizigi N.A. Umov tomonidan kiritilgan bo'lib, u **Umov vektori** deb ataladi.



9-rasm

(8) ifodadan ko'rinib turibdiki, j kattalik fazoning turli nuqtalarida turlicha qiymatga ega bo'ladi hamda vaqt bo'yicha sinus kvadrati qonuniga muvofiq berilgan nuqtada o'zgaradi. Uning o'rtacha qiymati (5) ifodani hisobga olgan holda

$$\bar{j} = \bar{u} v = \frac{1}{2} \rho a^2 \omega^2 v \quad (9)$$

ga teng bo'ladi.

Agar fazoning biror nuqtasida $\vec{j}$ ning qiymati ma'lum bo'lsa, shu nuqtada istalgan yo'nalishda joylashtirilgan kichik ΔS yuzadan o'tuvchi energiya oqimini aniqlash mumkin. Buning uchun ΔS yuzaning $\vec{j}$ vektorga perpendikulyar tekislikka proyeksiyasi olinadi. Bu proyeksiyaning kattaligi

$$\Delta S_{\perp} = \Delta S \cos \alpha \quad (10)$$

ko'rinishda ifodalanadi. Bu yerda α — ΔS yuzaga o'tkazilgan normal $\vec{n}$ bilan energiya oqimi zichligi vektori $\vec{j}$ orasidagi burchakdir.

Yuzaning yetarlicha kichikligi sababli, u orqali oqayotgan energiya oqimini $\Delta S_{\perp}$ orqali oqayotgan oqimga teng deb olish mumkin. (7) ga asosan $\Delta S_{\perp}$ orqali oqayotgan energiya oqimi

$$\Delta\Phi = j \Delta S_{\perp}$$

ko'rinishda ifodalanadi. $\Delta S_{\perp}$ ni uning (10) dagi qiymati bilan almashtirsak, $\Delta\Phi = j \Delta S \cos \alpha$ hosil bo'ladi.

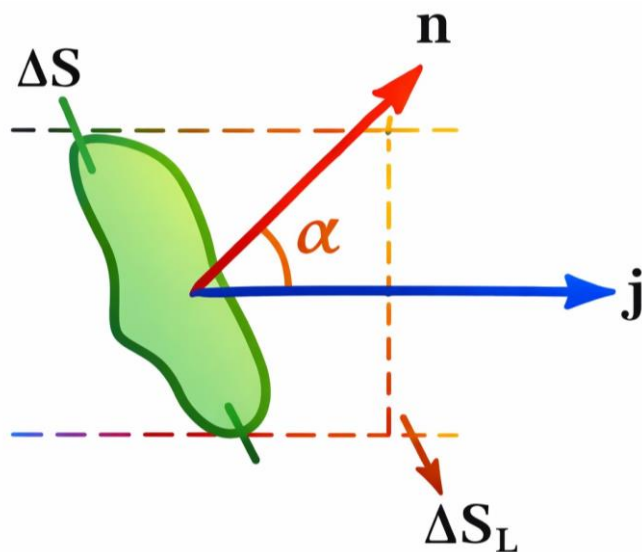
Bu yerda $j \cos \alpha$ kattalik energiya oqimi zichligi vektori $\vec{j}$ ning ΔS yuzaga o'tkazilgan normal $\vec{n}$ yo'nalishi bo'yicha proyeksiyasini ifodalaydi, ya'ni

$$j_n = j \cos \alpha.$$

Shunday qilib, energiya oqimi

$$\Delta\Phi = j_n \Delta S \quad (11)$$

ko'rinishda aniqlanadi.



10-rasm

Shunday qilib, kichik ΔS yuza orqali o'tuvchi energiya oqimi energiya oqimi zichligi vektorining normal tashkil etuvchisini ΔS ga ko'paytmasiga teng bo'ladi.

Ixtiyoriy S sirtning istalgan nuqtasida energiya oqimi zichligi vektori $\vec{j}$ ma'lum bo'lsa, shu sirt orqali o'tuvchi Φ energiya oqimini hisoblash mumkin. Buning uchun sirtni shunday kichik ΔS yuzachalarga bo'lamizki, ularning har birini yassi deb hisoblash va har bir ΔS chegarasida $\vec{j}$ vektorini kattaligi hamda yo'nalishi jihatidan o'zgarmas deb qabul qilish mumkin bo'lsin. Bu holda har bir ΔS yuzacha orqali o'tuvchi elementar $\Delta\Phi$ oqim (11) formula asosida aniqlanadi. Bunda har bir ΔS uchun j_n ning mos qiymati olinadi; j_n ning qiymati $\vec{j}$ vektorining shu nuqtadagi qiymatiga va yuzaning $\vec{j}$ ga nisbatan orientatsiyasiga bog'liq bo'ladi:

$$\Phi \approx \sum \Delta\Phi = \sum j_n \Delta S \quad (12)$$

Bu ifoda taqribiy hisoblanadi. Φ ning aniq qiymatini topish uchun barcha ΔS yuzachalar nolga infiltiriladi. Bunda (12) yig'indi integralga aylanadi:

$$\Phi = \int_S j_n dS \quad (13)$$

Ushbu integral butun S sirt bo'ylab olinadi va sirtning turli nuqtalaridagi energiya oqimi zichligi bilan shu sirt orqali o'tuvchi energiya oqimi orasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

Endi sferik to'lqinning to'lqin sirtidan o'tuvchi energiya oqimini hisoblaymiz. Energiya oqimi zichligining normal tashkil etuvchisi to'lqin

sirtining barcha nuqtalarida bir xil bo‘lib, uning o‘rtacha qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$\bar{J}_n = \frac{1}{2} \rho a_r^2 \omega^2 v,$$

bu yerda a_r — to‘lqinning manbadan r masofadagi amplitudasi.

(13) ifodada o‘zgarmas kattaliklarni integral ishorasidan tashqariga chiqarsak, quyidagiga ega bo‘lamiz:

$$\Phi = \bar{J}_n S = \frac{1}{2} \rho a_r^2 \omega^2 v \cdot 4\pi r^2.$$

Agar to‘lqin energiyasi muhitda yutilmasa, istalgan radiusli sfera orqali o‘tuvchi o‘rtacha energiya oqimi bir xil bo‘lishi kerak, ya’ni

$$\Phi = 2\pi\rho\omega^2 v a_r^2 r^2 = \text{const.}$$

Bundan sferik to‘lqinning amplitudasi to‘lqin manбайдan bo‘lgan masofa r ga teskari proportsional ekanligi kelib chiqadi.

Tajribalar bunday so‘nish eksponentsial qonun asosida sodir bo‘lishini ko‘rsatadi, ya’ni to‘lqin amplitudasi masofaga bog‘liq holda $a = a_0 e^{-\gamma x}$ qonun bilan kamayadi. Shu sababli yassi so‘nuvchi to‘lqinning tenglamasi

$$\xi = a_0 e^{-\gamma x} \cos(\omega t - kx) \quad (14)$$

ko‘rinishga ega bo‘ladi. Bu yerda γ — to‘lqinning so‘nish koeffitsienti bo‘lib, uning o‘lchamligi uzunlikka teskari kattalikdir. Demak, γ^{-1} kattalik to‘lqin amplitudasining qanchalik masofada emarta kamayishini ifodalaydi.

(8) ga asosan energiya oqimi zichligi

$$\bar{j} = \bar{j}_0 e^{-2\gamma x} \quad (15)$$

ko‘rinishda kamayadi.

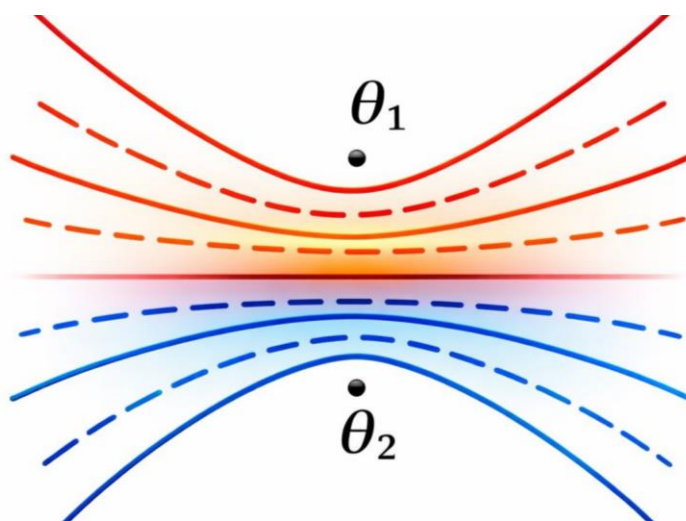
Yutuvchi muhitda tarqalayotgan sferik to‘lqin tenglamasi esa quyidagicha yoziladi:

$$\xi = \frac{a}{r} e^{-\gamma r} \cos\left(\omega t - \frac{\omega r}{v}\right) \quad (16)$$

3.5 To‘lqinlar interferensiyasi va difraksiyasi.

Agar muhitda bir vaqtda bir nechta to‘lqin tarqalayotgan bo‘lsa, u holda muhit zarralarining tebranishi, zarralarning har bir to‘lqin alohida-alohida tarqalgan vaqtdagi tebranishlarning geometrik yig‘indisidan iborat bo‘lar ekan. Demak, to‘lqinlar bir-birini buzmasdan to‘g‘ridan-to‘g‘ri qo‘shilar ekan. Tajribalarga tayangan holda aytilgan bu fikr to‘lqinlarning superpozitsiya (qo‘shilish) prinsipi deb ataladi.

Agar muhitning har bir nuqtasidagi ayrim-ayrim to‘lqinlar yuzaga keltirilgan tebranishlarning fazalari farqi o‘zgarmas bo‘lsa, **kogerent to‘lqinlar** deyiladi. Ravshanki, faqat bir xil chastotali to‘lqinlarga kogerent bo‘lishi mumkin.



10-rasm. Kogerent manaaalar.

Kogerent to‘lqinlar qo‘shilgan vaqtda interferensiya hodisasi yuz beradi. Bu hodisa shundan iboratki, tebranishlar ba’zi nuqtalarda bir-birini kuchaytirsa, boshqa nuqtalarda zaiflashtiradi.

Fazalar farqi o‘zgarmas bo‘lgan O_1 va O_2 nuqtaviy manbaalar (bunday manbaalar o‘zlari hosil qilgan to‘lqinlarga o‘xshab kogerent manbaalar deb yuritiladi) tarqayotgan ikkita to‘lqinni ko‘rib chiqaylik. To‘lqinlarning har biri hosil qilayotgan tebranishlarning ikkalasi ham bir xil yo‘nalishga ega (buning uchun to‘lqin manbaalari orasidagi masofa manbaalardan berilgan nuqttagacha bo‘lgan masofadan ancha kichik bo‘lishi, yoki tebranishlarning yo‘nalishi manbaa bilan berilgan nuqta yotgan tekislikka perpendikulyar bo‘lishi kerak) degan shart bilan muhitning biror nuqtasidagi natijaviy tebranishni topaylik.

O_1 va O_2 manbalarning tebranish fazalari mos ravishda $(\omega t + \alpha_1)$ va $(\omega t + \alpha_2)$ ga teng bo‘lsin. U holda berilgan nuqtadagi tebranish quyidagi ikki tebranishning yig‘indisidan iborat bo‘ladi:

$$\xi_1 = a_1 \cos (\omega t + \alpha_1 - kr_1), \xi_2 = a_2 \cos (\omega t + \alpha_2 - kr_2).$$

Bu yerda a_1 va a_2 – to‘lqinlarning tekshirilayotgan nuqtadagi amplitudalari, k – to‘lqin soni, r_1 va r_2 — mos ravishda to‘lqin manbalaridan berilgan nuqttagacha bo‘lgan masofalardir.

Quyidagi shart bajarilganda tebranishlar o‘zaro kuchayadi:

$$k(r_1 - r_2) - (\alpha_1 - \alpha_2) = \pm 2\pi n (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (1)$$

Bu holatda natijaviy harakat ω chastotali va $(a_1 + a_2)$ amplitudali garmonik tebranishdan iborat bo‘ladi.

Aksincha, quyidagi shart bajarilganda tebranishlar bir-birini susaytiradi:

$$k(r_1 - r_2) - (\alpha_1 - \alpha_2) = \pm (2n + 1)\pi (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

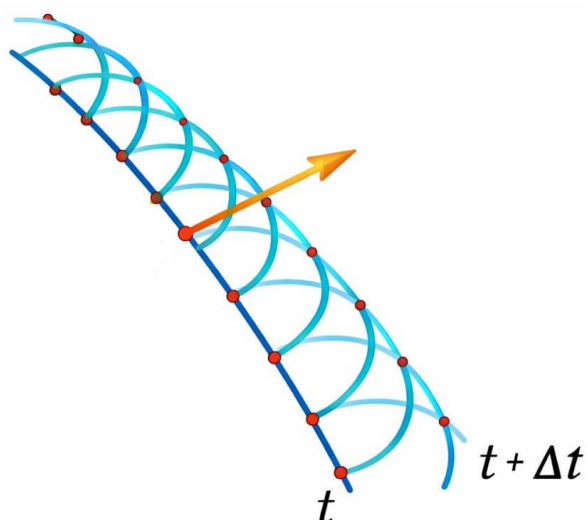
Bunday nuqtalarda natijaviy tebranish amplitudasi $|a_1 - a_2|$ ga teng bo‘ladi.

Agar $a_1 = a_2$ bo‘lsa, mazkur nuqtalarda tebranish butunlay yo‘qoladi.

(1) va (2) shartlardan quyidagi munosabat kelib chiqadi:

$$r_1 - r_2 = \text{const} \quad (3)$$

Analitik geometriyadan ma’lumki, (3) tenglama fokuslari O_1 va O_2 nuqtalarda joylashgan giperbolaning tenglamasini ifodalaydi. Demak, tebranishlar o‘zaro kuchayadigan nuqtalarning geometrik o‘rni giperbolalar oilasidan tashkil topadi (10-rasm). Rasmda tutash chiziqlar bilan tebranishlar kuchayadigan, punktir chiziqlar bilan esa tebranishlar susayadigan nuqtalar tasvirlangan

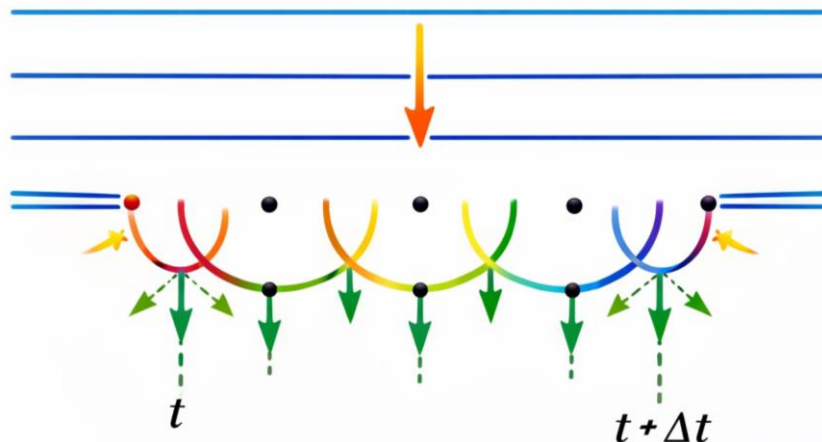


11-rasm. To‘lqinning fazaviy siljishi.

To‘lqinlar o‘z tarqalish yo‘lida to‘siqqa duch kelganida, uni aylanib o‘tish xususiyatini namoyon etadi. Ushbu hodisa difraksiya deb ataladi. Difraksiyaning paydo bo‘lish mexanizmini Gyuygens prinsipi asosida izohlash mumkin. Mazkur prinsip to‘lqin frontining vaqtning t paytidagi berilgan holatidan kelib chiqib, $t + \Delta t$ paytda yangi to‘lqin frontini aniqlashga tayanadi.

Gyuygens prinsipiga ko‘ra, to‘lqin yetib borgan har bir nuqta ikkilamchi to‘lqinlar manbai vazifasini bajaradi. Ushbu ikkilamchi to‘lqinlarni o‘rab oluvchi egri chiziq keyingi momentdagi to‘lqin frontining holatini belgilaydi (11-rasm). Bu yerda muhit bir jinsli emas deb qaralib, to‘lqin tezligi rasmning pastki qismida yuqori qismidagiga nisbatan katta deb faraz qilinadi.

Endi teshikli yassi to‘siqqa unga parallel bo‘lgan to‘lqin fronti tushsin (12-rasm). Gyuygens prinsipiga muvofiq, to‘lqin frontining teshikka qaragan qismining har bir nuqtasi bir jinsli va izotrop muhitda sferik shakldagi ikkilamchi to‘lqinlar manbai bo‘ladi.



12-rasm.

Ikkilamchi to‘lqinlarni o‘rab oluvchi egri chiziqni chizish orqali to‘lqinning to‘siq qirralaridan aylanib o‘tib, teshik orqasidagi geometrik soya sohasiga kirib borishini kuzatish mumkin bo‘ladi. Rasmda bu sohaning chegaralari uzoq chiziqlar bilan ko‘rsatilgan.

3.6 Turg‘un to‘lqinlar

Ikkita bir xil amplitudali bir-biriga qarab yo‘nalgan yassi to‘lqinlar o‘zaro qo‘shilganda juda muhim interferensiya hodisasi kuzatiladi. Buning natijasida yuzaga keluvchi tebranishlar turg‘un to‘lqin deyiladi. Amalda turg‘un to‘lqinlar ular to‘siqlardan qaytgan vaqtlarda yuzaga keladi. To‘siqqa kelib urilayotgan to‘lqin bilan unga qarshi kelayotgan qaytgan to‘lqin bir-biriga qo‘shilib turg‘un to‘lqin hosil qiladi.

Qarama-qarshi yo‘nalishlarda tarqalayotgan ikkita yassi to‘lqinning tenglamalari quyidagicha yoziladi:

$$\xi_1 = a \cos (\omega t - kx),$$

$$\xi_2 = a \cos (\omega t + kx).$$

Ushbu ikki ifodani qo'shib hamda kosinuslar yig'indisi formulasidan foydalansak, quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 = 2a \cos kx \cos \omega t.$$

To'lqin soni k ni uning ifodasi bilan almashtirsak, ξ quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\xi = 2a \cos \left(\frac{2\pi x}{\lambda} \right) \cos \omega t \quad (1)$$

(1) tenglama turg'un to'lqin tenglamasi deb yuritiladi. Undan ko'rinish turibdiki, turg'un to'lqinning har bir nuqtasida uchrashayotgan to'lqinlarning chastotasiga teng chastotali tebranishlar yuzaga keladi, biroq bu tebranishlarning amplitudasi x koordinataga bog'liq bo'ladi.

Tebranish amplitudasi

$$A(x) = 2a \cos \left(\frac{2\pi x}{\lambda} \right)$$

ko'rinishda aniqlanadi. Quyidagi shart bajarilganda amplituda maksimal qiymatga ega bo'ladi:

$$\cos \left(\frac{2\pi x}{\lambda} \right) = \pm 1 (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (2)$$

Mazkur nuqtalar turg'un to'lqinning do'ngliklari deb ataladi. (2) shartdan do'ngliklarning koordinatalari quyidagicha aniqlanadi:

$$x_{\text{do'ng}} = \pm \frac{n\lambda}{2} (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (3)$$

Amplituda nolga teng bo'ladigan nuqtalar esa turg'un to'lqinning tugunlari deyiladi. Tugunlarda joylashgan muhit nuqtalari tebranmaydi. Tugunlarning koordinatalari quyidagi qiymatlar bilan ifodalanadi:

$$x_{\text{tugun}} = \pm \frac{(2n + 1)\lambda}{4} \quad (n = 0, 1, 2, \dots) \quad (4)$$

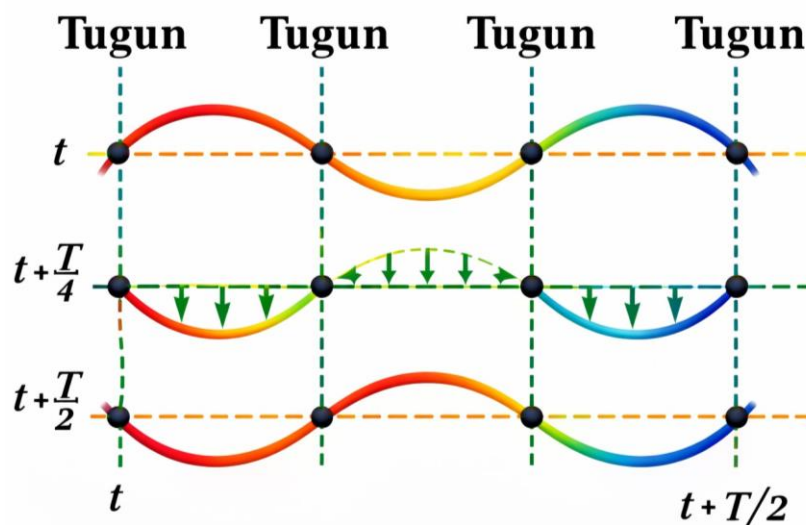
(3) va (4) formulalardan kelib chiqadiki, qo'shni do'ngliklar orasidagi masofa qo'shni tugunlar orasidagi masofaga teng bo'lib, $\lambda/2$ ga tengdir. Do'ngliklar va tugunlar esa bir-biriga nisbatan $\lambda/4$ to'lqin uzunligi miqdorida siljigan bo'ladi.

Yana (1) tenglamaga murojaat qilamiz. Undagi $2\cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$ ko'paytma nol qiymatdan o'tganda o'z ishorasini o'zgartiradi. Shu holatga mos ravishda tugunning ikki tomonida joylashgan nuqtalardagi tebranishlarning fazalari π ga farq qiladi, ya'ni tugunning qarama-qarshi tomonlarida joylashgan nuqtalar qarama-qarshi fazalarda tebranadi. Ikkita qo'shni tugun orasida joylashgan barcha nuqtalar esa sinfaz, ya'ni bir xil fazada tebranadi.

14-rasmda nuqtalarning muvozanat holatidan og'ishi chorak davrga teng vaqt oralig'ida olingan «fotosuratlar» orqali ifodalangan. Strelkalar yordamida zarralarning tezliklari ko'rsatilgan.

(1) tenglamani x va t bo'yicha differensiallab, muhit deformatsiyasi va zarralar tezligining o'zgarish qonunini aniqlaymiz:

$$\varepsilon = \frac{\partial \xi}{\partial x} = -\frac{2\pi a}{\lambda} \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \cos \omega t \quad (5)$$



13-rasm

(5) tenglama deformatsiyaning turg'un to'liqini, (6) esa turg'un to'liq tezligini ifodalaydi. Ushbu tenglamalardan kelib chiqadiki, tezlikning tugun va do'ngliklari siljishning mos ravishda tugun va do'ngliklari bilan ustma-ust tushadi. Deformatsiyaning tugun va do'ngliklari esa mos ravishda tezlik va siljishning do'ngliklariga to'g'ri keladi (15-rasm).

ξ va ε kattaliklar maksimal qiymatga erishgan paytda $\frac{\partial \xi}{\partial t}$ nolga teng bo'ladi yoki aksincha. Shunga muvofiq, bir tebranish davri davomida turg'un to'liqin energiyasi ikki marta almashinadi: u goh to'liq potensial energiyaga (asosan tugunlar yaqinida, ya'ni deformatsiya do'ngliklari joylashgan hududda), goh to'liq kinetik energiyaga (asosan to'liqin do'ngliklari joylashgan hududda) aylanadi.

Natijada energiya har bir tugundan unga qo'shni do'ngliklarga, so'ngra qo'shni tugunlarga ko'chib turadi. Turg'un to'liqinning istalgan kesimida o'rtacha energiya oqimi nolga teng bo'ladi.

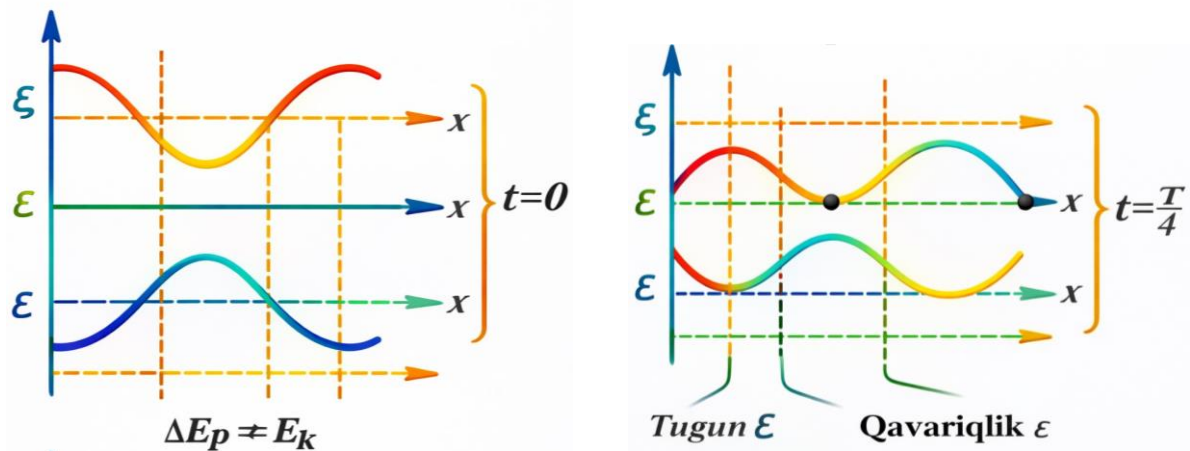
Torning tebranishi. Ikki uchi mahkamlangan tarang torda ko'ndalang to'lqinlar uyg'otilsa, turg'un to'lqinlar yuzaga keladi. Bunda tor mahkamlangan uchlarida tugunlar joylashishi kerak. U uchun torda faqat yarim to'lqin uzunligi torning uzunligiga butun son marta nisbatda bo'lgan to'lqinlarga sezilarli intensivlik bilan yuzaga keladi (16-rasm), bundan quyidagi shart kelib chiqadi:

$$l = \frac{n\lambda}{2}, (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

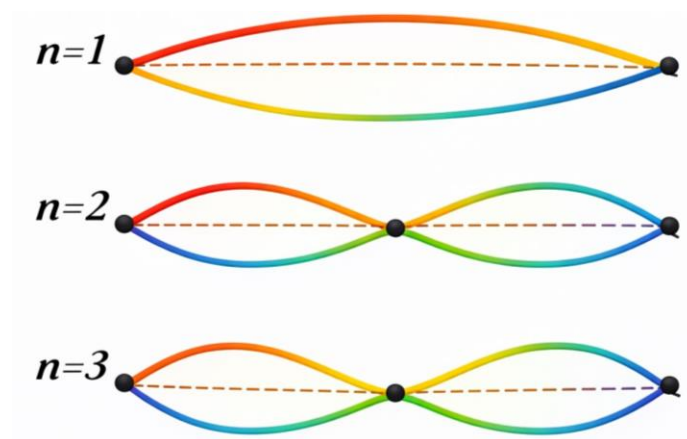
bu yerda l – torning uzunligi. (1) ga mos to'lqin uzunliklariga quyidagi chastotalar to'g'ri keladi:

$$\nu_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{n\nu}{2l}, (n = 1, 2, 3, \dots).$$

bu yerda v – to'lqinning faza tezligi bo'lib, u torning taranglik kuchiga va tor uzunlik birligining massasiga, ya'ni torning chiziqli zichligiga bog'liq.



15-rasm



16-rasm

ν_n chastotalar torning **xususiy tebranish chastotalari** deb ataladi. Ma'lum bo'lishicha, xususiy chastotalar **asosiy chastota** deb ataluvchi

$$\nu_1 = \frac{v}{2l}$$

ga karrali nisbatda bo'ladi. $n = 2, 3, \dots$ ga mos keluvchi chastotalar **obertonlar** deb ataladi (birinchi oberton $n = 2$ ga, ikkinchi oberton $n = 3$ ga va hokazo mos keladi).

Umumiy holda torning tebranishi turli xususiy chastotalarga ega bo'lgan bir nechta turg'un to'lqinlarning qo'shilishidan iborat bo'ladi.

3.7 Doppler effekti

To'lqin tarqatuvchi manba va to'lqin qabul qiluvchi bir-biriga nisbatan harakatlenganda, ya'ni yaqinlashganda yoki uzoqlashganda, manbaadan chiqayotgan chastota bilan qabul qiluvchi qurilma qabul qilayotgan chastota o'zgaradi. Ushbu hodisa **Doppler effekti** deb ataladi. Masalan, tajribalardan ma'lumki, poyezd qo'ng'irog'i ovozining balandligi platformaga

yaqinlashganda ortadi, uzoqlashganda esa kamayadi. Bu holat tovush manbaining qabul qiluvchi qurilmaga nisbatan harakati natijasida qabul qilinayotgan chastota o'zgarishini ko'rsatadi.

Faraz qilaylik, elastik muhitda to'lqin manbaidan ma'lum masofada muhit tebranishlarini sezuvchi qurilma — qabul qiluvchi qurilma (pryomnik) joylashgan bo'lsin. To'lqin manbaidan chiqayotgan to'lqin chastotasi ν ga teng bo'lsin.

1. Manba va qabul qiluvchi qurilma muhitga nisbatan tinch turgan holat

Agar manba va qabul qiluvchi qurilma muhitga nisbatan tinch bo'lsa, ya'ni

$$v_m - v_p = 0,$$

u holda to'lqinning muhitdagi tarqalish tezligi v ga teng bo'ladi va to'lqin uzunligi

$$\lambda_0 = vT = \frac{v}{\nu}$$

ko'rinishda ifodalanadi. To'lqinni qabul qiluvchi qurilmaga yetib borganda, u yerda uyg'otiladigan tebranish chastotasi

$$\nu_0 = \frac{v}{\lambda_0} = \nu$$

bo'ladi. Demak, manbadan chiqayotgan chastota bilan qabul qiluvchi qurilma qabul qilayotgan chastota bir xil bo'ladi.

2. Qabul qiluvchi qurilma manbaga qarab harakatlanayotgan holat (manba tinch)

Bu vaziyatda qabul qiluvchi qurilmaga nisbatan to‘lqinning tarqalish tezligi $v + v_p$ ga teng bo‘ladi. To‘lqin uzunligi o‘zgarishsiz qolganligi sababli qabul qiluvchi qurilma tomonidan qabul qilinayotgan chastota o‘zgarishga uchraydi va u tezliklarning nisbiy qiymatiga bog‘liq ravishda aniqlanadi.

$$\nu' = \frac{v + v_p}{\lambda_0} = \nu \frac{v + v_p}{v}$$

Demak, qabul qiluvchi qurilma qabul qilayotgan chastota manbadan chiqayotgan chastotaga nisbatan $\frac{v+v_p}{v}$ marta ortadi.

3. Manba qabul qiluvchi qurilmaga qarab harakatlanayotgan holat (qabul qiluvchi qurilma tinch)

Bu holda to‘lqinning tarqalish tezligi faqat muhit xossalariga bog‘liq bo‘lib, v ga teng qoladi. Manbadan chiqayotgan tebranish davri T davomida to‘lqin qabul qiluvchi qurilmaga tomon $\lambda = vT$ masofani bosib o‘tadi. Shu vaqt ichida manba to‘lqin yo‘nalishi bo‘ylab $v_m T$ masofaga siljiydi, natijada to‘lqin uzunligi

$$\lambda' = \lambda - v_m T = (v - v_m)T$$

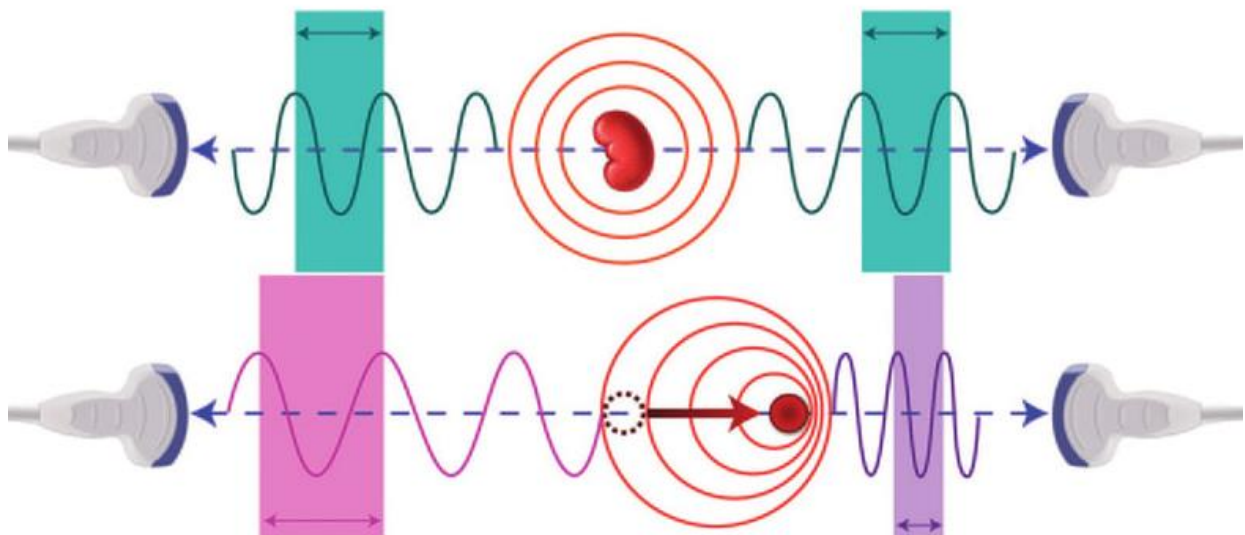
ga teng bo‘ladi. Shunda qabul qiluvchi qurilma qabul qilayotgan chastota

$$\nu' = \frac{v}{\lambda'} = \nu \frac{v}{v - v_m}$$

ko‘rinishga ega bo‘ladi. Ya’ni, qabul qiluvchi qurilma qabul qilayotgan chastota manbadan chiqayotgan chastotaga nisbatan $\frac{v}{v-v_m}$ marta ortadi.

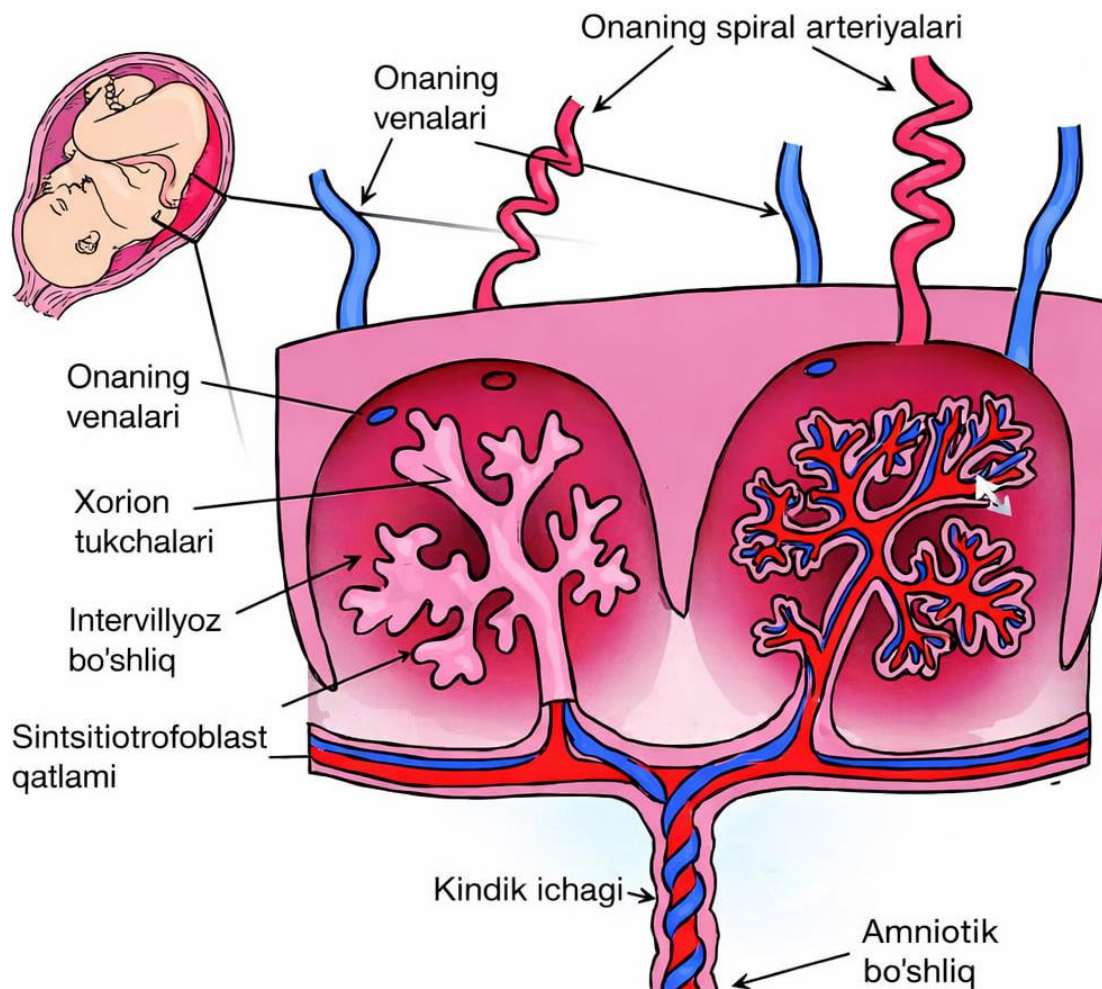
3.8 Dopler effektining tibbiyotda qo'llanilishi

Doppler effekti — to'lqin manbai hamda uni qabul qiluvchi moslama o'zaro nisbiy harakatda bo'lganida, qabul qilinayotgan to'lqin chastotasining o'zgarishi bilan ifodalanadigan fizik hodisadir. Ushbu effekt tibbiyot amaliyotida, ayniqsa ultratovush diagnostikasi jarayonida asosiy nazariy tamoyillardan biri hisoblanadi. Mazkur hodisa orqali biologik to'qimalardan, ayniqsa harakatlanayotgan qonning shaklli elementlaridan qaytgan ultratovush signallaridagi chastota og'ishi (Doppler siljishi) aniqlanadi. Doppler ultratovush tekshiruvida datchik tomonidan yuborilgan to'lqinlar eritrositlardan aks etib qaytadi, eritrositlar harakatda bo'lgani sababli qaytgan signal chastotasi o'zgaradi va bu o'zgarish qon oqimi tezligiga proporsional bo'ladi. Shu tarzda Doppler effekti qon aylanish jarayonlarini real vaqt rejimida o'rganish imkonini beradi.



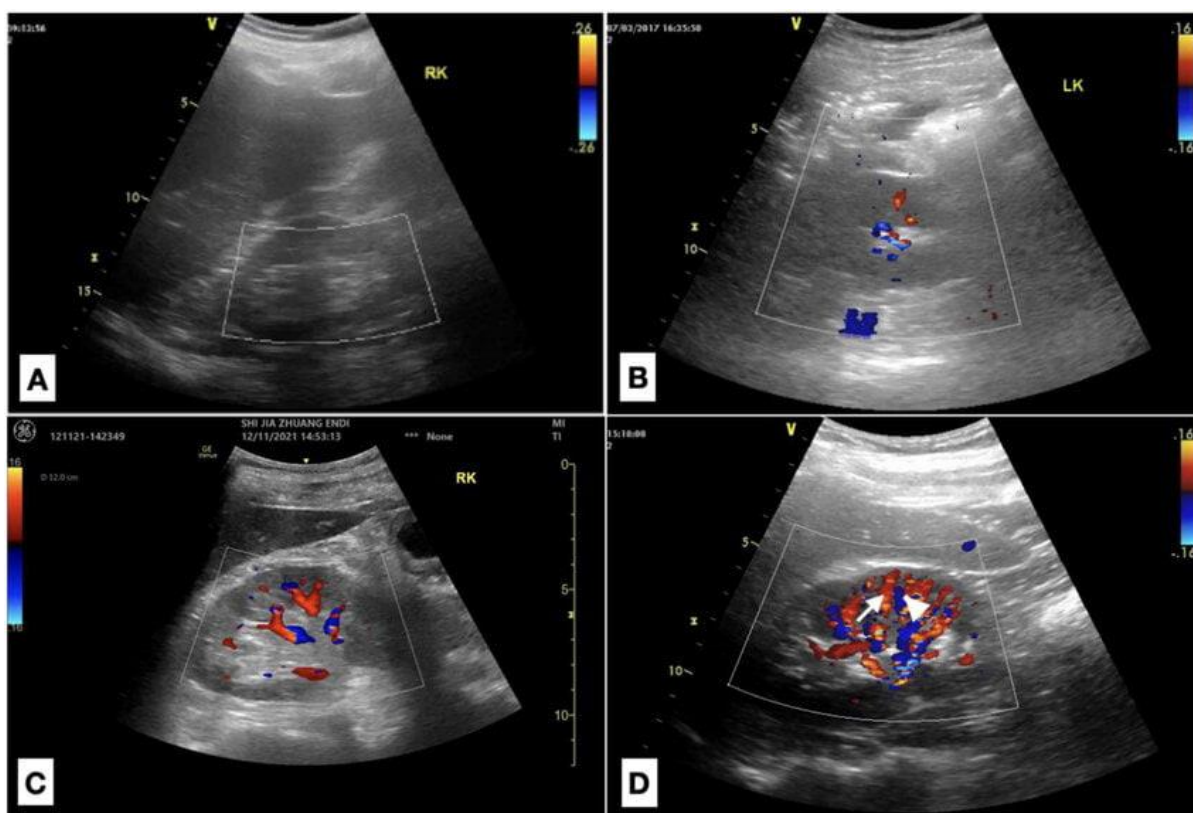
17-rasm

Akusherlik va ginekologiyada Doppler usuli homila yurak urishini baholash, platsentar va kindik tomirlaridagi qon aylanishini tekshirish hamda homila gipoksiyasini erta aniqlashda muhim ahamiyatga ega.



18-rasm

Nevrologiyada esa transkraniyal Doppler yordamida bosh miya tomirlaridagi qon oqimi baholanib, insult va miya ishemiyasi xavfi aniqlanadi. Shuningdek, nefrologiya va urologiyada bu usul buyrak tomirlaridagi gemodinamik holatni baholashda qo'llaniladi.



19-rasm

Buyraklarda Doppler ultratovush tekshiruvi yordamida qon aylanishini baholash bosqichlarini ko'rsatadi.

- A holatda buyrak oddiy ultratovush rejimida tasvirlangan bo'lib, bunda buyrakning shakli, o'lchami va to'qima tuzilishi aniqlanadi, ammo qon oqimi hali ko'rinmaydi.

- B holatda rangli Doppler rejimi qo'llanilib, buyrak tomirlarida qon oqimi paydo bo'la boshlaydi, ranglar qon harakatining yo'nalishini bildiradi va qon aylanishining nisbatan sust holati aks etadi.

- C holatda buyrak tomirlarida qon oqimi aniq va faol ko'rinadi, bu holat odatda normal perfuziyani yoki fiziologik qon aylanishini ifodalaydi.

- D holatda esa rangli Doppler signallari juda kuchli bo‘lib, bu buyrakda qon aylanishining ortishi yoki patologik o‘zgarishlar, masalan yallig‘lanish yoki o‘sma jarayonlari bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin.

Doppler ultratovush diagnostikasining uzlukli, doimiy, rangli va spektral turlari mavjud bo‘lib, ularning har biri gemodinamik jarayonlarni turli jihatdan tahlil qilish imkonini beradi. Ushbu metodning asosiy afzalliklari — invaziv emasligi, og‘riqsizligi, ionlashtiruvchi nurlanishdan xoli bo‘lishi va homiladorlik davrida ham xavfsiz qo‘llanishidir. Xulosa qilib aytganda, Doppler effekti asosida ishlovchi ultratovush diagnostikasi zamonaviy tibbiyotda qon aylanishi va funksional holatlarni baholashning ishonchli, samarali va muhim usullaridan biri hisoblanadi.

4. TOVUSH TO‘LQINLARI VA UNING TIBBIYOTDAGI AHAMIYATI

Zamonaviy tibbiyot amaliyotida tovush asosidagi tekshirish usullari keng qo‘llaniladigan diagnostik va funksional baholash metodlari qatoriga kiradi. Jumladan, auskultatsiya, perkussiya, fonokardiografiya, ultratovush diagnostikasi hamda davolovchi asbob-uskunalarining ishlash prinsipi tovush va mexanik tebranishlar bilan bevosita bog‘liqdir. Shuningdek, inson organizmiga ultratovush va turli shovqinlarning ta‘sirini o‘rganish, eshitish organi – quloqning funksional faoliyatini tadqiq etish ham tovush hodisalari asosida amalga oshiriladi.

Ana shunday usullar bilan bir qatorda, eshitish organlarining funksional holatini chuqur va obyektiv baholashda audiometriya metodining qo‘llanilishi muhim ilmiy va amaliy ahamiyat kasb etadi.

Tovush - tirik oragnizmlarni atrof muxitini tashkil qiluvchi asosiy fizik kattaliklardan biridir.

Tebranishlarning vaqt o‘tishi bilan fazoda tarqalishi **to‘lqin** deyiladi.

- Chastotasi 16 Hz dan 20000 Hz gacha bo‘lgan elastik muxitda tarqaluvchi bo‘ylama mexanik to‘lqinlar **tovush** deb aytiladi.
- Chastotasi 16-20 Hz dan past tovushlar **infratovush**, chastotasi 20 kHz dan yuqori tovushlar **ultratovush**, $10^9 - 10^{12}$ Hz tovushlar **gipertovush** deb ataladi.
- Tovush suyak to‘qimasi orqali tarqalganda inson qulog‘i 225 000 Hz chastotali ultratovushni xam qabul qilishi mumkin.

- Vakuumba tovush yuzaga kelmaydi. Chunki tebranishni uzatuvchi elastik muhit bo'lmaydi.

4.1 Tovush tabiati. Fizikaviy xarakteristikalar

Insonning normal qulog'i yetarlicha keng diapozondagi tovush intensivliklarini qabul qiladi.

Insonda tovush sezgilarini paydo qiladigan tovush bosimi va intensivligining minimal qiymatlari **eshitish bo'sag'asi** deb ataladi. Inson qulog'i uchun 1kHz chastotada eshitish bo'sag'asiga tovush bosimi $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa$, tovush intensivligi $I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$.

Insonda og'riq hissiyotini uyg'otadigan tovush bosimi va intensivliklari qiymatlari **og'riq sezish bo'sag'asi** deb ataladi.

Inson qulog'i uchun 1kHz chastotada og'riq sezish bo'sag'asiga tovush bosimi $P_0 = 60 Pa$, tovush intensivligi $I_0 = 10 \frac{W}{m^2}$.

Tovush intensivligiga (I) tovush to'lqinlarining birlik vaqt ichida to'lqin tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan ko'ndalang kesim yuzi orqali olib o'tgan energiyasi bilan o'lchanadi.

Tovush intensivligining SI sistemadagi o'lchov birligi: $1 \frac{W}{m^2}$

Intensivlik darajasi (L). Intensivlik darajasi deb tovush intensivligi bilan eshitish bo'sag'asi intensivligi nisbatining o'nli logarifmiga aytiladi.

Eshitish va og‘riq sezish bo‘lag‘asi intensivliklari nisbati 10^{13} ga teng bo‘lib, bu juda katta qiymatdir. Shu sababli tovush intensivliklarini xarakterlashda logarifmik birliklardan foydalanishga to‘g‘ri keladi:

$$L_b = \lg \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

Tovush bosimini hisoblash uchun esa:

$$L_b = 2\lg \left(\frac{P}{P_0} \right).$$

Odatda bu birlik o‘rniga detsibel (dB) birligi ishlatiladi. **1 Bell = 10 dB.**

Detsibellardagi intensivlik darajasi quyidagi formulalarga ko‘ra hisoblanadi:

$$L_{dB} = 10\lg \left(\frac{I}{I_0} \right) = 20\lg \left(\frac{P}{P_0} \right).$$

Quyidagi talablar bajarilganda odam tovushni sezadi:

1. Tovush chastotasi 16 Hz dan 20 000 Hz gacha bo‘lishi;
2. Quloq va tovush manbai orasida elastik muhit mavjud bo‘lishi;
3. Tovush to‘lqinlarining quvvati kishida tovush sezgisini hosil qilishga yetarli bo‘lishi kerak.

Tovush havoda 0 °C da tovushning tarqalish tezligi 322 m/s ga teng, temperatura ortishi bilan uning tezligi 0.5 m/s ga oshadi.

To‘lqinlarning tarqalish tezligi muhitga va tashqi sharoitga bog‘liqdir. Masalan, suvda tovushning tarqalish tezligi 1450 m/s, po‘latda esa 5000 m/s ga teng.

To‘lqinlar olib o‘tgan energiya amplituda kvadratiga va chastota kvadratiga to‘g‘ri proporsional. Shuning uchun tovush intensivligi ham tovush to‘lqinidagi tebranishlar amplitudasining kvadratiga va chastotasining kvadratiga to‘g‘ri proporsionaldir:

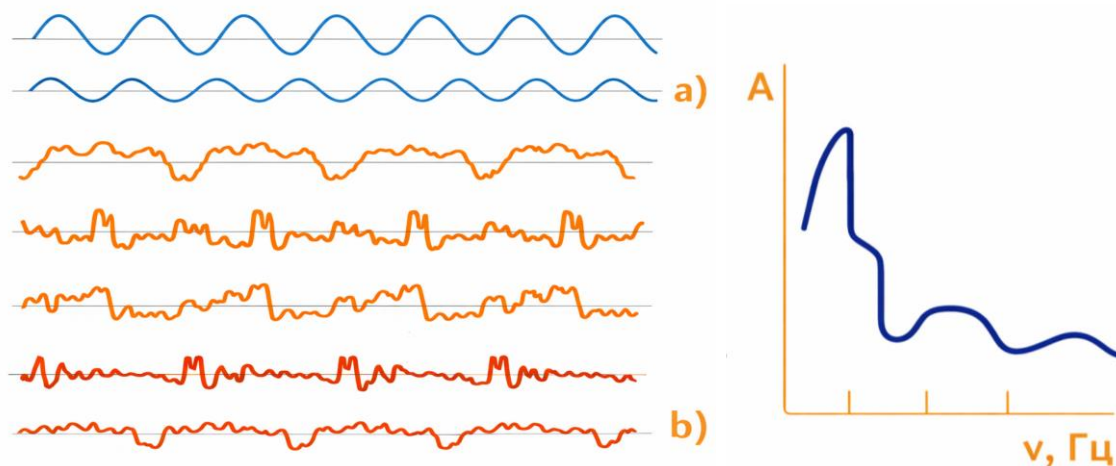
$$I = \frac{1}{2} A^2 \omega^2 \rho v$$

bu yerda:

- A — to‘lqin amplitudasi,
- ω — to‘lqinning siklik chastotasi,
- ρ — muhit zichligi,
- v — to‘lqin tarqalishining fazaviy tezligi.

Davriy jarayondan iborat bo‘lgan tovush **ton** deb aytiladi. Agar bu jarayon garmonik bo‘lsa, unda ton oddiy yoki **sof** ton deb ataladi. Sof tonning asosiy fizik xarakteristikasi uning chastotasidir. Angarmonik tebranishlarga murakkab ton mos keladi. Sodda tonli tovushni, masalan, kamerton chiqaradi, murakkab tonli tovushni musiqa asboblari, nutq apparati (unli tovushlar) va hokazolar hosil qiladi.

Murakkab ton tarkibiy jihatdan oddiy tonlarga ajratilishi mumkin. Ajratib olingan tonlar ichida eng kichik ν_0 chastotaga ega bo'lgan komponent asosiy ton hisoblanadi, qolgan tashkil etuvchilar esa uning garmonikalari (obertonlari) bo'lib, ν_0 , $2\nu_0$ va hokazo chastota qiymatlariga ega bo'ladi.



20 -rasm. a) oddiy ton b) murakkab ton c) shovqin

Vaqt davomida davriy ravishda takrorlanmaydigan hamda tuzilishining murakkabligi bilan ajralib turadigan tovush shovqin deb ataladi. Mashinalar vibratsiyasi, qarsak tovushi, gorelka alangasining shovqini, shitirlash, g'ichillash, nutq jarayonida hosil bo'ladigan undosh tovushlar va boshqa shu kabi tovushlar shovqin turkumiga kiradi. Shovqinni parametrlarining tartibsiz ravishda o'zgarib turishi bilan tavsiflanuvchi murakkab tonlar majmuasi sifatida talqin etish mumkin.

4.2 Tovushning sub'yektiv xarakteristikasi.

Tovush ikki xil ko'rinishdagi kattaliklar orqali tavsiflanadi: birinchisi inson tomonidan sezilishiga bog'liq bo'lmagan, ya'ni ob'yektiv (fizik) kattaliklar, ikkinchisi esa inson sezgi organlari orqali idrok etilishiga asoslangan sub'yektiv kattaliklardir. Shubhasiz, ushbu ikki turdagi kattaliklar

o‘zaro muayyan qonuniyat asosida bir-biri bilan chambarchas bog‘langan bo‘ladi.

Tovushning sub’yektiv tavsiflariga odam tomonidan qabul qilinadigan balandlik, tembr va qattqlik kiradi. Har bir sub’yektiv bahoga tovush to‘lqinining aniq fizik xarakteristikasi mos keladi.

Balandlik — tovushning, eng avvalo, asosiy ton chastotasi bilan belgilanadigan sub’yektiv xususiyatidir, ya’ni u to‘g‘ridan-to‘g‘ri chastotaga bog‘liq bo‘ladi. Balandlik tonning murakkabligi va intensivligiga nisbatan juda kam darajada bog‘lanadi: ayrim hollarda intensivligi yuqori bo‘lgan tovush ham nisbatan past tonli tovush sifatida qabul qilinishi mumkin. Tovush temбри esa asosan uning spektral tarkibi bilan belgilanadi. Spektral tarkib mazkur tovush qaysi chastotalardagi tebranishlardan tashkil topganini hamda ushbu chastotalar orasida amplitudalar qanday taqsimlanganini ifodalaydi. Masalan, musiqiy tovush chiziqli spektr bilan, shovqin esa tutash (uzluksiz) spektr bilan tavsiflanadi.

Qattqlik — tovushning yana bir sub’yektiv ko‘rsatkichi bo‘lib, u eshituv sezgisining intensivlik darajasini aks ettiradi. Sub’yektiv xarakterga ega bo‘lishiga qaramay, tovush qattqligini ikki manbadan taralayotgan tovushlarning eshituv sezgisiga ko‘rsatadigan ta’sirini o‘zaro solishtirish orqali miqdoriy jihatdan baholash mumkin.

Tovush qattqligi amplitudaga bog‘liqdir. Qattqlik darajalari shkalasini tuzishda Veber–Fexnerning muhim psixofizik qonuni asos qilib olinadi. Mazkur qonunga ko‘ra, agar ta’sirot geometrik progressiya asosida orttirilsa,

uning sezilishi arifmetik progressiya bo'yicha oshib boradi. Ushbu qonunni tovushga qo'llasak, agar tovush intensivligi aI_0 , a^2I_0 , a^3I_0 (bu yerda a — koeffitsient, $a>1$) kabi ketma-ket qiymatlarga ega bo'lsa, ularga mos ravishda qattqlik sezilishi E_0 , $2E_0$, $3E_0$ va hokazo ko'rinishda ortib boradi.

Buning matematik mazmuni shundan iboratki, tovush qattqligi uning intensivligining logarifmiga proporsionaldir. Agar intensivliklari I va I_0 (I_0 — eshituv bo'sag'asi) bo'lgan ikki tovush ta'sir etsa, Veber–Fexner qonuniga muvofiq tovush qattqligi intensivlik bilan quyidagi bog'lanishda ifodalanadi:

$$E = k \lg (I / I_0)$$

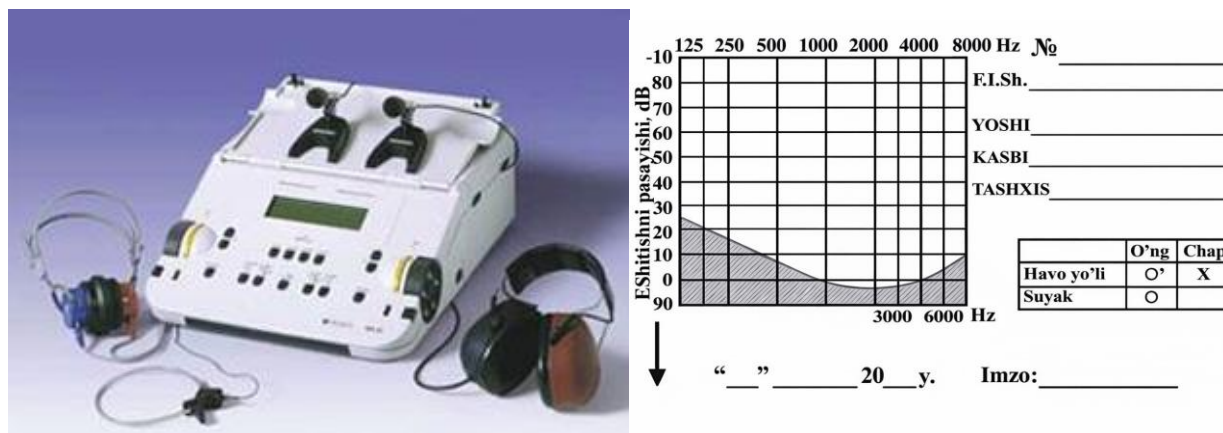
bu yerda k — proporsionallik koeffitsienti bo'lib, u chastota va intensivlikka bog'liq.

Turli chastotalarda tovush intensivligi bilan qattqligi o'rtasidagi muvofiqlikni aniqlash uchun qattqlik qiymati bir xil bo'lgan egri chiziqlardan foydalaniladi. Mazkur egri chiziqlar yuqorida tavsiflangan metodika asosida eshituv qobiliyati me'yoriy bo'lgan insonlardan olingan o'rtacha eksperimental natijalarga tayangan holda tuzilgan.

4.3 Eshituv sezgisining xarakteristikalari. Audiometriya

Tovushni eshitish sezgirligini aniqlashga qaratilgan tekshirish usuli audiometriya deb nomlanadi. Mazkur maqsadda maxsus sozlangan qurilma — audiometr yordamida quloqning turli chastotalardagi eshitish o'tkirligi va sezgirlik darajasi baholanadi. Ushbu tekshiruv natijasida olinadigan egri chiziq **audiogramma** deb yuritiladi.

Agar tovush manбайдan sferik to‘lqinlar tarqalayotgan bo‘lsa, tovush intensivligi tovush manбайдan qabul qiluvchi qurilmaga qadar bo‘lgan masofaning kvadratiga teskari proporsional bo‘ladi.



Ma'lumki, tovushning balandligi amplitudaning ortishi bilan kuchayadi, tovush manbaigacha bo‘lgan masofa kattalashgan sari esa kamayadi. Tajribalar shuni ko‘rsatadiki, to‘lqinda tebranish amplitudasining o‘zgarishi faqat tovushning balandligiga ta’sir ko‘rsatadi, uning boshqa sifat ko‘rsatkichlariga esa deyarli ta’sir etmaydi. Sub’yektiv xususiyatga ega bo‘lishiga qaramay, tovush qattiqligini ikki manbadan taralayotgan tovushlarning eshituv sezgisiga ko‘rsatadigan ta’sirini o‘zaro taqqoslash orqali miqdoriy jihatdan aniqlash mumkin.

Bemor shaxsning audiogrammasini normal eshituv sezgisi bo‘lag‘asiga mos egri chiziq bilan qiyoslash eshituv a‘zolari kasalliklariga tashxis qo‘yishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Eshituv tizimi tovush to‘lqinlarini qabul qiluvchi apparatni bevosita bosh miya bilan bog‘lovchi murakkab funksional sistema hisoblanadi. Kibernetika

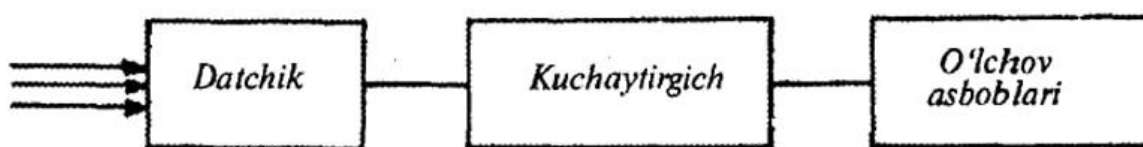
tushunchalariga tayangan holda aytish mumkinki, eshituv tizimi axborotni qabul qiladi, uni qayta ishlaydi va keyingi markazlarga uzatadi. Eshituv fizikasini tahlil qilish maqsadida butun eshituv tizimidan tashqi quloq, o'rta quloq va ichki quloq qismlarini alohida ko'rib chiqamiz.

Turli xususiyatlarga ega tovushlar haqida aniq tasavvur hosil qilish uchun, avvalo, ularning asosiy fizik xarakteristikalarini bayon etamiz.

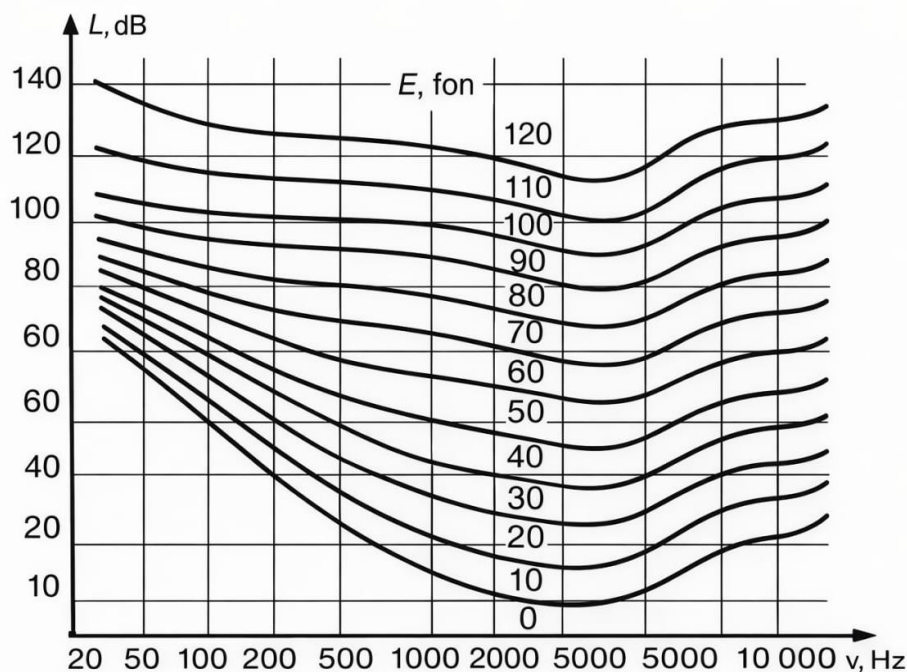
Tovushning tahminiy xarakteri	Tovush intensivligi, Vt/m^2	Tovush bosimi, Pa	Eshituv bo'sag'asida nisbatan tovush intensivligi darajasi, dB (yoki kHz chastota tovush qattiqligi darajasi, fon)
Eshituv bo'sag'asi	10^{-12}	0,00002	0
Yurak tonlari	10^{-11}	0,000064	10
stetaskop orqali	10^{-10}	0,0002	20
Shivirlash	10^{-9}	0,00064	30
Gaplashish:			
sekin	10^{-6}	0,0002	40
normal	10^{-7}	0,0064	50
qattiq	10^{-6}	0,02	60
Serqatnov ko'cha shovqini	10^{-5}	0,064	80
Qichqiriq	10^{-4}	0,2	80
Shovqin:			
Metro poezdi ichida	10^{-3}	0,64	90
mototsiklning	10^{-2}	2	100
(maksimal)	10^{-1}	6,4	110
Samolyot dvigatelining			
Shuning o'zi yaqindan	10^{-0}	20	120
Og'riq sezish bo'sag'asida	10	64	130

Odam organizmida quloq supراسي eshitish jarayonida hal qiluvchi ahamiyat kasb etmaydi, biroq u tovushni qabul qilishda ma'lum funksional rol o'ynaydi. Quloq supراسي sagital tekislik bo'yicha joylashgan bo'lib, boshning harakati orqali uni tovush manbai tomonga yo'naltirish imkonini beradi.

Tovush to'lqinlari manbadan tarqalib, avvalo quloq supراسiga kelib tushadi. Manbaning vertikal yo'nalishdagi joylashuviga bog'liq ravishda tovush to'lqinlari quloq supراسining o'ziga xos anatomik tuzilishi ta'sirida turlicha difraksiyaga uchraydi. Natijada eshitish yo'lga kirib borayotgan tovush to'lqinlarining spektral tarkibi ma'lum darajada o'zgaradi, bu esa tovush manbaining fazoviy joylashuvini aniqlashga yordam beradi.



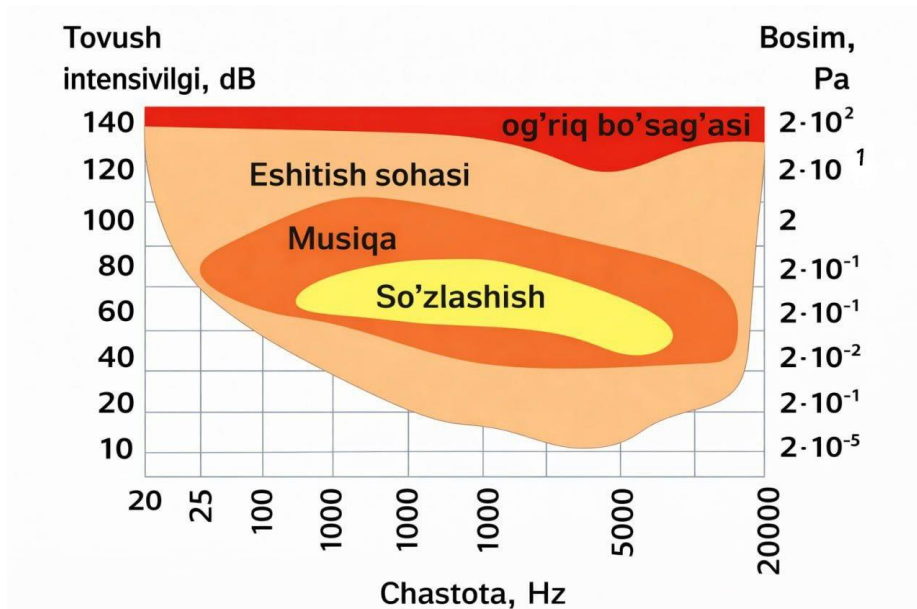
22-rasm. Shumomer ishlash algoritmi.



23-rasm. Eshitish bo'sag'asi.

Shovqinning qattqlik darajasini ob'yektiv ravishda o'lchash maqsadida maxsus asbob — shovqin o'lchagich (shumomer) qo'llaniladi. Tuzilish jihatidan ushbu qurilma 22-rasmda keltirilgan sxemaga muvofiq ishlaydi. Shumomerning akustik va elektr xususiyatlari inson qulog'ining sezgirlik xossalariга yaqinlashtirilgan bo'lib, buning uchun qattqlik darajasining turli diapazonlari uchun moslashtiruvchi (to'g'rilovchi) elektr filtrlardan foydalaniladi.

Normal fiziologik holatdagi inson qulog'i 16 Hz dan 20 kHz gacha bo'lgan chastota oralig'idagi tovushlarni qabul qila oladi, biroq turli chastotalardagi tovushlarga nisbatan sezgirlik darajasi bir xil emas. 23-rasmda tasvirlangan pastki grafik inson qulog'i tomonidan sezilishi mumkin bo'lgan eng kichik tovush bosimi P_0 (yoki intensivlik I_0) qiymatini ko'rsatadi. Mazkur kattaliklar eshitish bo'sag'asi deb yuritiladi. Grafikdan ko'rish mumkinki, $\nu \approx 3000\text{Hz}$ atrofida egri chiziq minimum qiymatga ega bo'ladi, ya'ni aynan shu chastota diapazonida quloq eng yuqori sezgirlikni namoyon qiladi.



24-rasm. Odam qulog'i eshitish va og'riq bo'sag'alari.

Yuqoridagi grafik quloqda og‘riq sezgisini hosil qiladigan tovush bosimi (yoki intensivlik) qiymatini aks ettiradi va u og‘riq bo‘lag‘asi deb yuritiladi. Mazkur bosim kattaligi chastotaga deyarli bog‘liq bo‘lmaydi va keng chastota diapazonida deyarli o‘zgarmas saqlanadi. Eshitish bo‘lag‘asi bilan og‘riq bo‘lag‘asi orasidagi tebranishlar sohasi inson qulog‘i tomonidan idrok etilishi mumkin bo‘lgan diapazonni tashkil etadi. Amaliyotda esa mazkur diapazonning nisbatan tor qismigina kundalik hayotda qo‘llaniladi.

Murakkab spektral tarkibga tovushning tembri deb ataluvchi sub’yektiv xususiyati mos keladi va uni miqdoriy jihatdan aniq baholash imkoniyati mavjud emas. Bir xil asosiy tonni chiqaradigan turli musiqa asboblari tembri bilan o‘zaro farqlanadi. Demak, tovush tembri uning garmonik spektri bilan aniqlanadi va aynan shu orqali tovushning individual xususiyatlari namoyon bo‘ladi. Masalan, royal va g‘ijjak tovushlarini oson farqlash mumkin, chunki ular turli obertonlarga ega bo‘lib, ularning garmonik spektrlari bir-biridan sezilarli darajada farq qiladi. Tovush tembrini aniqlash uchun uni garmonik tarkibiy qismlarga ajratish, ya’ni tovush spektrini tahlil qilish talab etiladi.

Inson qulog‘ining e’tiborga sazovor xususiyatlaridan biri shundaki, u tovushning balandligi va amplitudasini sezish qobiliyatiga ega, biroq murakkab tovush tarkibidagi fazalar siljishini idrok eta olmaydi. Ushbu hodisa Om tomonidan aniqlangan. Mazkur xususiyatni konsert zalida turli joylarda o‘tirgan tinglovchilarning musiqa asboblari gacha bo‘lgan masofalari har xil bo‘lishiga qaramay, tovushni bir xil tarzda qabul qilishida kuzatish mumkin.

Inson qulog'i tovush manbaining shaxsga nisbatan qaysi yo'nalishda joylashganini aniqlash qobiliyatiga ega. Ushbu hodisa binaural effekt deb ataladi. Tovush manbaining fazodagi o'rni unga qadar bo'lgan masofa hamda vertikal va gorizontal tekisliklardagi burchak qiymatlari orqali tavsiflanadi. Gorizontal tekislikda inson burchakni taxminan 3° aniqlik bilan ajrata oladi, vertikal tekislikdagi burchak va manbagacha bo'lgan masofa esa nisbatan pastroq aniqlik darajasida seziladi.

Muayyan unli tovush talaffuz etilganda, uning spektrida chastotasi deyarli o'zgarmaydigan bir yoki ikkita komponent kuzatiladi; hatto past tonlardan yuqori tonlarga o'tilganda ham ushbu komponentlar saqlanib qoladi. Mazkur chastotalar shu unli tovushning formantlari deb yuritiladi. Har bir unli tovush o'ziga xos formantlar to'plamiga ega bo'ladi.

4.4 Eshitish apparati tuzilishining fizikaviy asoslari

Ikki dona tovushni qabul qiluvchi tizimga (ya'ni ikki quloqqa) ega bo'lgan insonlar va ko'pgina hayvonlar tovush manbai tomon yo'nalishni gorizontal tekislikda aniqlash qobiliyatiga ega; bu hodisa binaural effekt deb ataladi. Mazkur effektning fizik asosini shunday tushuntirish mumkinki, tovush manбайдan o'ng va chap quloq supralarigacha bo'lgan masofa turlicha bo'lgani sababli, ularga yetib kelayotgan to'lqinlar orasida fazalar farqi yuzaga keladi. Agar tovush manbai insonning yuz ro'parasida joylashgan bo'lsa, u holda yo'llar ayirmasi $\delta=0$ va fazalar farqi $\Delta\varphi=0$ bo'ladi. Agar tovush manbai quloq suprasining bir tomoni qarshisida tursa, ikkinchi quloqqa tovush ma'lum kechikish bilan yetib boradi. Taxminan tovush to'lqini bosib o'tgan yo'llar

ayirmasi δ ikkala quloq supراسi orasidagi masofaga teng deb olinadi. Masalan, $\delta=0,15$ m va $\nu=1$ kHz qiymatlarida fazalar farqi $\Delta\varphi$ ni hisoblash mumkin bo‘lib, u taxminan 180° ga teng bo‘ladi.

Gorizontal tekislikda tovush manbai turli yo‘nalishlarda joylashganda, quloq supralariga yetib kelayotgan tovushlar uchun ($\delta=0,15$ m va $\nu=1$ kHz bo‘lganda) 0° dan 180° gacha bo‘lgan fazalar farqi mos keladi. Normal eshitish qobiliyatiga ega bo‘lgan inson tovush manbaiga nisbatan quloq suprasining burilish burchagini taxminan 3° aniqlikda sezishi mumkin, bu esa fazalar farqining qariyb 6° ga mos kelishiga to‘g‘ri keladi. Shu bois ayrim insonlar fazalar farqi 6° gacha o‘zgaradigan tovushlarni farqlay olish xususiyatiga ega.

Binaural effekt faqat fazalar farqi bilan emas, balki ikki quloqqa tushayotgan tovush intensivligining o‘zaro farqlanishi hamda bosh tomonidan quloqlardan birida “akustik soya” hosil bo‘lishi bilan ham bog‘liq.

Tovush to‘lqini tashqi eshitish yo‘li bo‘ylab tarqalib, nog‘ora pardaga yetib borganda undan qisman aks etadi. Tushayotgan va aks etgan to‘lqinlarning o‘zaro interferensiyaga kirishishi natijasida akustik rezonans hodisasi yuzaga kelishi mumkin. Bunday rezonans sharoiti to‘lqin uzunligi tashqi eshitish yo‘li uzunligidan to‘rt marta katta bo‘lgan holatda ro‘y beradi. Inson qulog‘ida tashqi eshitish yo‘lining uzunligi taxminan 2,3 sm ni tashkil etadi. Shundan kelib chiqib, akustik rezonans chastotasi quyidagicha aniqlanadi:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^2}{4 \cdot 2,3 \cdot 10^2} = 3 \text{ kHz}$$

O'rta quloqning muhim anatomik tuzilmalariga nog'ora parda hamda eshitish suyakchalari — bolg'acha, sandoncha va uzangi kiradi; shuningdek, ular bilan bog'langan muskullar, paylar va bog'lovchi tuzilmalar ham mazkur tizim tarkibiga kiradi. Eshitish suyakchalari mexanik tebranishlarni tashqi quloqning havo muhitidan ichki quloqning suyuqlik muhitiga uzatish vazifasini bajaradi.

Ichki quloq suyuqlik muhitining to'ldin qarshiligi taxminan suvning to'ldin qarshiligiga teng. Tovush to'ldinlarining havodan to'g'ridan – to'g'ri suvga o'tishida tutayotgan to'ldin intensivliklarining faqat 0,122% igina suvga uzatiladi. Bu juda oz albatta. Shuning uchun o'rta quloqning vazifasi ichki quloqqa tovush intensivligini ko'proq o'tkazishga yordam qilishdan iborat. Texnika tili bilan aytganda, o'rta quloq havoning va ichki quloq suyuqligi to'ldin qarshiliklarini bir-biriga moslashtiradi.

Suyakchalar tizimida bolg'achaning bir uchi yuzasi $S_1 = 64 \text{ mm}^2$ bo'lgan nog'ora parda bilan tutashgan, ikkinchi uchi esa uzangi orqali yuzasi $S_2 = 3 \text{ mm}^2$ ga teng bo'lgan ichki quloqning oval (suyri shakldagi) teshikchasi bilan bog'langan.

Nog'ora pardaga tovush to'ldini ta'sirida P_1 bosim hosil bo'ladi va u quyidagi formula orqali aniqlanadigan F_1 kuchni yuzaga keltiradi:

$$F_1 = P_1 S_1 \quad (1)$$

Ichki quloqning oval teshikchasiga suyuqlik muhitida P_2 bosim hosil qiluvchi F_2 kuch ta'sir etadi. Mazkur kattaliklar orasidagi munosabat quyidagi ifoda orqali belgilanadi:

$$F_2 = P_2 S_2 \quad (2)$$

Eshitish suyakchalari tizimi richag mexanizmi kabi faoliyat ko'rsatadi va insonda ichki quloq tomon uzatilayotgan kuchning taxminan 1,3 marta ortishiga (kuch yutug'iga) olib keladi. Bu nisbat quyidagicha ifodalanadi:

$$F_1 / F_2 = l_2 / l_1 \quad (3)$$

(1)-ifodani (2)-ifodaga nisbatlab va hosil bo'lgan natijani (3)-tenglama bilan tenglashtirish orqali quyidagi munosabatga ega bo'lamiz:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{P_1 S_1}{P_2 S_2} = \frac{l_2}{l_1}$$

Bundan

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{S_1 l_1}{S_2 l_2} = 20 \cdot 1.3 = 26$$

yoki logarifmik birliklarda

$$L_{dB} = 20 \lg(P_2/P_1) = 20 \lg 26 = 20 \cdot 1,415 \approx 28dB$$

Demak, o'rta quloq tashqi muhitdan kelayotgan tovush bosimini ichki quloqqa ma'lum darajada kuchaytirgan holda uzatadi.

O'rta quloqning muhim funksiyalaridan yana biri — tovush intensivligi juda yuqori bo'lgan sharoitda uzatilayotgan mexanik tebranishlarni susaytirishdir. Bu jarayon o'rta quloq suyakchalariga birikkan muskullarning

reflektor tarzda bo'shashishi natijasida amalga oshadi. O'rta quloq eshitish nayi orqali atmosfera bilan tutashgan bo'lib, bu bosimning muvozanatlashuvini ta'minlaydi.

Tashqi va o'rta quloq tovushni o'tkazuvchi tizim sifatida faoliyat yuritadi, ichki quloq esa tovushni qabul qiluvchi hamda uni qayta ishlovchi sistema vazifasini bajaradi.

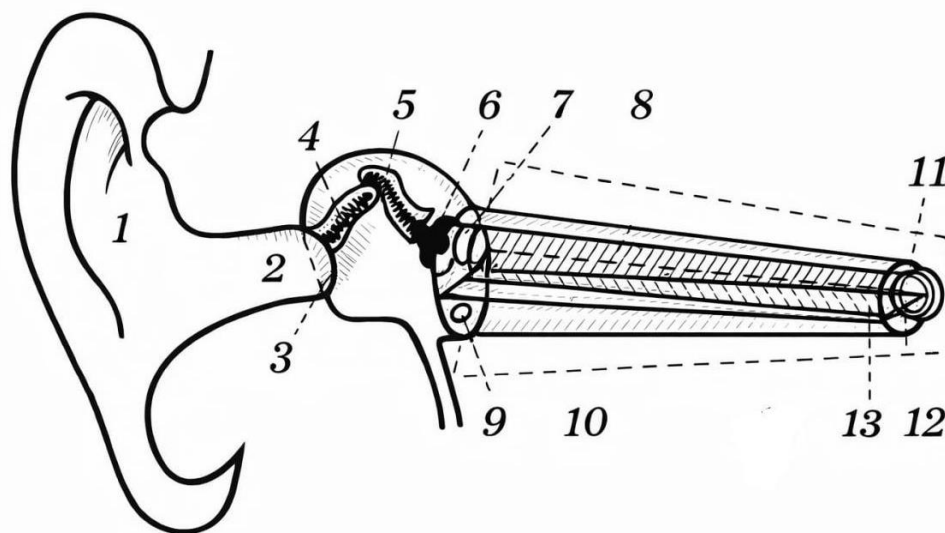
Ichki quloqning asosiy tuzilmasi spiral shakldagi chig'anoq bo'lib, u mexanik tebranishlarni elektr impulslariga aylantirish funksiyasini bajaradi. Ichki quloq tarkibiga chig'anoqdan tashqari, eshitish funksiyasiga bevosita taalluqli bo'lmagan vestibulyar apparat ham kiradi.

Inson chig'anog'i suyak to'qimasidan tuzilgan, uzunligi taxminan 35 mm bo'lgan konussimon spiral shaklga ega bo'lib, 2,5 o'ramdan iborat; uning asosiy diametri 9 mm, balandligi esa taxminan 5 mm ni tashkil etadi. Chig'anoq ichidan uchta kanal o'tadi. Ulardan birinchisi oval teshikchadan boshlanib, vestibulyar zina deb ataladi. Ikkinchi kanal aylana teshikdan boshlanadi va nog'ora zinasi deb yuritiladi. Vestibulyar va nog'ora zinalari chig'anoq cho'qqisi sohasida juda tor teshikcha — gelikotrema orqali o'zaro tutashgan. Shunday qilib, bu ikkala kanal perelimfa bilan to'ldirilgan yagona gidrodinamik tizimni hosil qiladi.

Uzangining tebranishlari oval teshikcha membranasiga uzatiladi, undan esa perelimfaga o'tadi va buning natijasida aylana teshik membranasini

Uzangicha 6 ning tebranishlari oval teshikcha 7 ning membranasiga, undan perelimfaga uzatiladi va aylana teshik membranasini 9 ni oldinga tortib chiqaradi. Vestibulyar va nog'ora zinasi orqasidan chig'anoq bo'ylab asosiy

(bazilyar) membrana 13 o'tadi. Ta'sirni qabul qiluvchi hujayralar eshitish retseptorlari bo'lgan kortiev organi mavjud bo'lib, chig'anoqdan yana eshitish nervi ham o'tadi.



25-rasm. Quloqning tuzilishi

Spiral a'zo mexanik tebranishlarni elektr impulslariga aylantiruvchi asosiy qabul qiluvchi organ sifatida qaraladi. Asosiy (bazilyar) membrananing uzunligi taxminan 32 mm ni tashkil etadi; u oval teshikchadan chig'anoq cho'qqisi tomonga yo'nalgan sari kengayib boradi hamda uning qalinligi va kengligi 0,1 mm dan 0,5 mm gacha o'zgarib turadi. Asosiy membrana fizik nuqtai nazardan nihoyatda qiziqarli tuzilma bo'lib, u chastotani tanlab qabul qilish xususiyatiga ega. Bu xususiyatga birinchi bo'lib Gelmgolts e'tibor qaratgan va asosiy membranani pianinoning sozlangan torlari qatoriga o'xshatib tasavvur qilgan.

Asosiy membranaga akustik ta'sir ko'rsatilsa, to'lqin tarqala boshlaydi. Bu to'lqinlar chastotasiga qarab turlicha so'na boshlaydi. Chastota qancha

kichik bo'lsa, uning so'na boshlashidan oldin membrana bo'ylab oval teshikdan shuncha uzoq masofaga to'lqin tarqaladi. Masalan, chastotasi 300 Hz bo'lgan to'lqin so'na boshlagunga qadar oval teshikchadan taxminan 25 mm masofaga tarqaladi, chastotasi 100 Hz bo'lgan to'lqin o'zining maksimumiga 30 mm ga yaqin oraliqda erishadi

O'tkazilgan ushbu tajribalar asosida ishlab chiqilgan nazariyaga ko'ra, qabul qilinadigan tonning yuksakligi asosiy membranadagi tebranish maksimumining joylashuvi bilan belgilanadi. Demak, ichki quloqda o'zaro bog'langan muayyan funksional zanjir shakllangan bo'lib, jarayon quyidagi ketma-ketlikda amalga oshadi: oval teshik membranasining tebranishi → perilimfa tebranishi → asosiy membrananing murakkab tebranishlari → sochsimon hujayralarning qo'zg'alishi → elektr signalning hosil bo'lishi.

Tovushning eng muhim mohiyati shundan iboratki, u yorug'lik kabi axborot tashuvchi omil hisoblanadi. Tabiat tovushlari, atrofdagi insonlarning nutqi, ishlab turgan mexanizmlarning shovqini bizga ko'plab ma'lumotlarni yetkazadi. Shuningdek, tovush inson ichki a'zolarining funksional holati haqida ham axborot beruvchi manba bo'lishi mumkin. Kasalliklarni aniqlashning keng qo'llaniladigan usullaridan biri perkussiya usuli bo'lib, bunda tana qismlariga urib ko'rilganda hosil bo'ladigan tovush eshitish orqali tahlil qilinadi.

Faraz qilaylik, biror jism ichida havo bilan to'ldirilgan berk bo'shliq mavjud bo'lsin. Agar ushbu jismda tovush tebranishlari hosil qilinsa,

tebranishlarning muayyan bir chastotasida mazkur berk bo'shliqdagi havo rezonans holatiga keladi hamda o'z o'lchamlari va fazodagi joylashuviga mos keluvchi tonni ajratib chiqarib, uni kuchaytiradi. Inson organizmini ham shartli ravishda gaz bilan to'ldirilgan tuzilmalar (o'pka), suyuqlik saqllovchi muhitlar (ichki a'zolar tarkibida) va qattiq strukturalar (suyaklar) hajmlarining yig'indisidan tashkil topgan murakkab tizim sifatida tasavvur etish mumkin. Tana yuzasi bo'ylab urib ko'rilganda keng chastota diapazonini qamrab oluvchi tebranishlar yuzaga keladi. Ushbu diapazondagi ayrim tebranishlar tezda so'nadi, boshqalari esa, ya'ni havo bo'shlig'ining xususiy chastotasiga mos keladiganlari rezonans hodisasi tufayli kuchayib, aniq eshitiladigan tovushga aylanadi. Tajribali shifokor perkussiya jarayonida hosil bo'ladigan tovush tonini tahlil qilish orqali ichki a'zolarining funksional holati hamda ularning topografik joylashuvini aniqlaydi.

Perkussiya usuli yordamida yurakning o'lchamlari va uning chegaralari aniqlanadi. Yurak mushak to'qimasidan va qon bilan to'ldirilgan, havosiz a'zo bo'lganligi sababli, uni tukillatganda bo'g'iqlik tovush eshitiladi. Biroq yurakning ma'lum qismi o'pka to'qimasi bilan qoplanganligi bois bo'g'iqlik tovush nisbiy va mutlaq bo'g'iqlik turlariga ajratiladi. Yurakning nisbiy bo'g'iqlik chegaralari uning anatomik chegaralariga mos tushadi, mutlaq bo'g'iqlik chegaralari esa o'pka bilan qoplanmagan yuzasining kengligini ifodalaydi. Aynan shu sohada yurakning o'ng qorinchasining oldingi devori joylashgan bo'ladi.

Perkussiya jarayonida bemor tik turgan, o'tirgan yoki yotgan holatda bo'lishi mumkin. Yurakning nisbiy bo'g'iqlik chegaralarini aniqlashda

oʻrtacha kuchga ega perkutor zarba qoʻllaniladi, mutlaq boʻgʻiqlik chegaralarini aniqlashda esa nisbatan kuchsiz zarba beriladi.

Auskultatsiya tibbiyot amaliyotida yurak, oʻpka va qon tomir kasalliklarini aniqlashda, shuningdek arterial qon bosimini baholashda muhim diagnostik usul sifatida keng qoʻllaniladi. Auskultatsiya oʻtkazishda stetoskop yoki fonendoskopdan foydalaniladi. Fonendoskop kovak kapsula va tovushni uzatuvchi membranadan iborat boʻlib, membrana bemor tanasiga qoʻyiladi, undan chiqadigan ikki trubka esa shifokor qulogʻiga ulanadi. Kovak kapsula ichidagi havo ustunida rezonans hodisasi yuz beradi, natijada tovush kuchayadi va auskultatsiya samaradorligi ortadi.



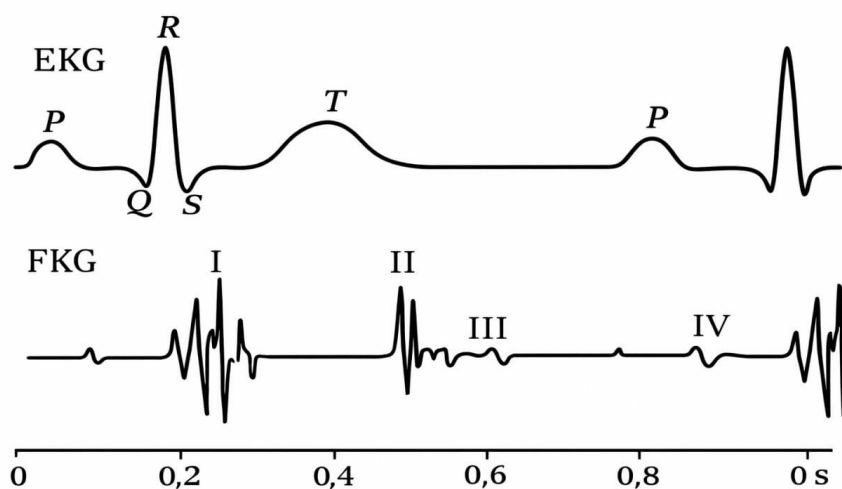
26-rasm. Fonendoskop, fonokardiograf

Oʻpkani auskultatsiya qilish jarayonida nafas olish vaqtida yuzaga keladigan shovqinlar hamda turli kasalliklarga xos boʻlgan xilma-xil xirillashlar eshitib baholanadi. Yurak tonlaridagi oʻzgarishlar va patologik shovqinlarning paydo boʻlishiga qarab, yurak faoliyatining funksional holati haqida xulosa chiqarish mumkin. Auskultatsiya usuli yordamida oshqozon va ichaklarda yuz beradigan toʻlqinsimon qisqarishlar — peristaltika

kuchayishini, shuningdek, homila yurak urishlarini ham aniqlash imkoniyati mavjud.

O'quv jarayonlarida yoki konsilium o'tkazishda bemorni bir vaqtning o'zida bir necha kuzatuvchi ishtirokida eshitish zarur bo'lganda mikrofon, kuchaytirgich, ovoz kuchaytiruvchi qurilma (gromkogovoritel) va bir nechta quloqchinlardan tashkil topgan maxsus tizimdan foydalaniladi.

Yurak faoliyatining holatini aniqlashda auskultatsiyaga yaqin bo'lgan fonokardiografiya (FKG) usuli ham qo'llaniladi. Ushbu metodning mohiyati yurak tonlari va shovqinlarini grafik ko'rinishda qayd etish hamda ularni diagnostik jihatdan tahlil qilishdan iborat. Fonokardiogramma maxsus fonokardiograf apparati yordamida yozib olinadi. Fonokardiograf qurilmasi mikrofon, kuchaytirgich, chastota filtrlari va qayd qiluvchi mexanizmdan tashkil topgan.



Normal elektrokardiogramma va fonokardiogramma.

Eshitishning yo'qolishi (karlik)ning ayrim shakllari chig'anoq retseptor apparatining shikastlanishi bilan bog'liq bo'ladi. Bunday holatlarda chig'anoq mexanik tebranishlar ta'sirida elektr impulslarini hosil qila olmaydi, ya'ni

mexanoelektrik transduktsiya jarayoni buziladi. Shu turdagi karlikda bemorga yordam ko‘rsatish imkoniyati mavjud. Buning uchun chig‘anoq ichiga maxsus elektrodlar joylashtiriladi va ularga mexanik ta’sir natijasida yuzaga keladigan tabiiy stimulga mos elektr signallar uzatiladi. Natijada eshitish nervi to‘g‘ridan-to‘g‘ri elektr qo‘zg‘alish orqali faollashtiriladi.

Chig‘anoqning asosiy funksiyasini protezlash, ya’ni sun’iy ravishda almashtirish mumkin. Koxlear protezlash (koxlear implantatsiya) usuli hozirgi kunda bir qator mamlakatlarda amaliyotga joriy etilgan va klinik qo‘llanilmoqda.

Ayrim moddalarning 20 °C dagi to‘lqin qarshiliklarini keltiramiz:

Moddalar	To‘lqin qarshiligi β, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	Moddalar	To‘lqin qarshiligi β, $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
Temir	40000000	Rezina	60000
Beton	4800000	Havo	400
Suv	1440000	Moy	1350000

Tovush to‘lqinini havodan betonga va suvga o‘tuvchanlik koeffitsientini aniqlash uchun o‘tuvchanlik koeffitsienti:

$$\beta = \frac{4 C_1 \rho_1}{C_2 \rho_2}$$

Beton uchun:

$$\beta = \frac{4 \cdot 440}{4\,800\,000} \times 100\% = 0,037\%$$

Suv uchun:

$$\beta = \frac{4 \cdot 440}{1\,440\,000} \times 100\% = 0,12\%$$

Reverberatsiya bir tomondan ijobiy ahamiyatga ega, chunki qaytgan to‘lqinlar energiyasi hisobiga qabul qilinayotgan tovushning intensivligi ortadi va eshitalish kuchayadi. Biroq, ikkinchi tomondan, reverberatsiya haddan tashqari kuchli bo‘lib, uzoq vaqt davom etsa, nutq va musiqa tovushlarining aniq idrok etilishiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi. Sababi shundaki, tovush signalining har bir yangi elementi avvalgisining so‘nib ulgurmagan qismi bilan ustma-ust tushib, akustik noaniqlik va chalkashlikni yuzaga keltiradi.

4.5 Tovushning yutilishi va so‘nishi hamda uning tibbiyotdagi ahamiyati

Tovush to‘lqinlari muhitda tarqalayotganda asta-sekin energiyasini yo‘qotadi, ya’ni yutiladi va so‘nadi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, 20°C harorat sharoitida chastotasi 1000 Hz bo‘lgan tovush to‘lqini havoda taxminan 115 km masofada e marta (ya’ni 2,718 marta) susayadi. Issiqlik o‘tkazuvchanlik omili ham inobatga olinganda esa ushbu masofa 81 km gacha qisqaradi. Biroq real atmosferada tovush bundan ancha tez so‘nadi, chunki uning tarqalishiga shamol tezligi, temperatura gradientlari, havoning namligi va turli zichlikka ega havo qatlamlarining mavjudligi sezilarli ta’sir ko‘rsatadi.

Bir jinsli muhit sharoitida nuqtaviy manbadan taralayotgan sferik to‘lqin barcha yo‘nalishlarda bir xil tezlik bilan yoyiladi. Biroq shamol mavjud bo‘lgan holatda uning tezligi tovush tezligi bilan geometrik tarzda qo‘shiladi. Yer yuzasiga yaqin qatlamda shamol tezligi nisbatan kichik bo‘lib, balandlik ortishi bilan asta-sekin ortib boradi. Shu sababli to‘lqin frontining turli qismlari

yerga nisbatan turlicha tezlikda siljiydi va natijada tovush to‘lqinlarining sinishi (refraksiyasi) hodisasi yuzaga keladi. Bundan tashqari, yer sirtining notekisligi hamda atmosferadagi turbulent oqimlar tovush energiyasining sochilishiga sabab bo‘ladi va uning tezroq susayishiga olib keladi.

Tovush intensivligining masofaga bog‘liq kamayishi eksponensial qonun bilan ifodalanadi:

$$I = I_0 e^{-\alpha x}$$

bu yerda α – muhitning yutilish koeffitsienti, x – tarqalish masofasi. Ushbu qonun tovush energiyasining muhit xossalariga bog‘liq ravishda kamayishini ifodalaydi.

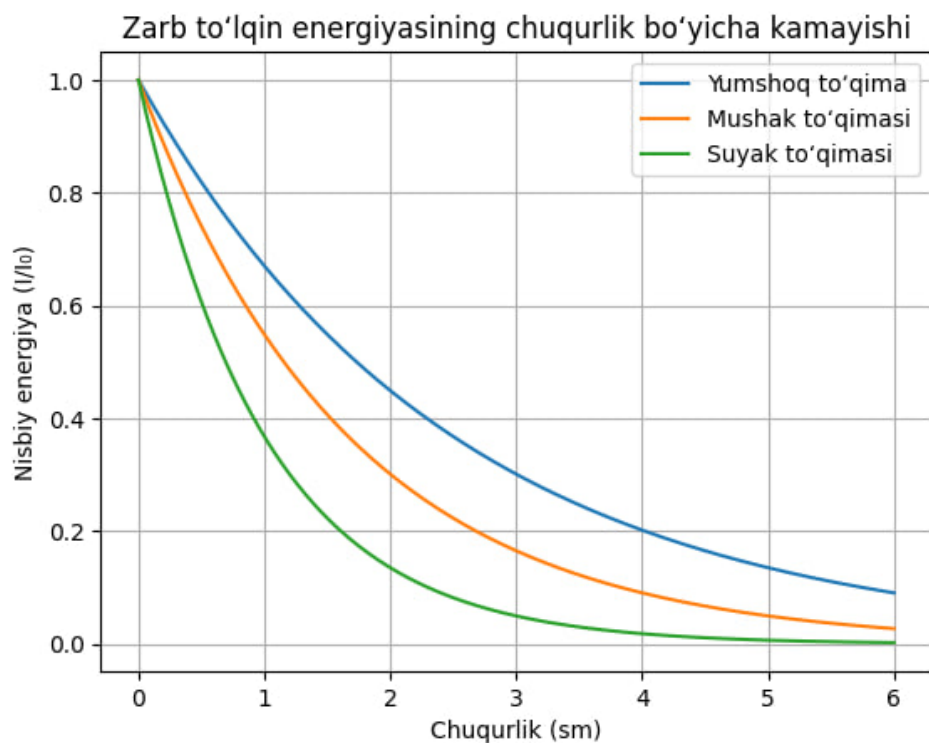
Tovushning yutilishi va so‘nishi qonuniyatlari tibbiyotda muhim amaliy ahamiyatga ega. Masalan, ultratovush to‘qimalar orqali o‘tganda qisman so‘riladi, qisman sochiladi va qisman qaytadi. Turli biologik to‘qimalar – suyak, mushak, yog‘, suyuqlik – ultratovushni turlicha yutadi. Aynan shu farq diagnostik tasvir hosil bo‘lishiga asos bo‘ladi. Suyak to‘qimasi ultratovushni kuchli yutadi, suyuqlik esa deyarli yutmaydi. Shu sababli ultratovush diagnostikasida yutilish koeffitsientlari muhim rol o‘ynaydi. Auskultatsiya jarayonida ham tovushning so‘nishi va o‘tishi muhim ahamiyat kasb etadi. Yurak va o‘pka tovushlari ko‘krak devori orqali o‘tganda to‘qimalarda qisman so‘riladi. Masalan, plevra bo‘shlig‘ida suyuqlik to‘planishi tovushni susaytiradi, o‘pka to‘qimasining zichlashuvi esa tovush o‘tkazuvchanligini o‘zgartiradi.

Infratovush to‘lqinlari past chastotali bo‘lgani sababli uzoq masofalarga yetib boradi va organizm to‘qimalariga chuqur kirib borishi mumkin. Uzoq muddatli infratovush ta’siri vegetativ asab tizimi faoliyatiga ta’sir ko‘rsatishi, bosh og‘rig‘i va umumiy noqulaylik keltirib chiqarishi mumkin. Shu sababli ishlab chiqarish gigiyenasida infratovush nazorati muhimdir.

Yuqori intensivlikdagi tovush to‘lqinlari esa zarb to‘lqin terapiyasida qo‘llaniladi. Bunda tovush energiyasi ma’lum chuqurlikda so‘rilib, biologik to‘qimalarda terapevtik ta’sir ko‘rsatadi. Energiya kamayish qonuniyati davolash chuqurligini belgilashda asosiy omil hisoblanadi.

Zarb to‘lqinining asosiy fizik xususiyati — bu energiya zichligining yuqoriligi va impuls davomiyligining qisqaligidir. Zarb to‘lqini energiyasi ma’lum chuqurlikda maksimal bo‘lib, undan keyin eksponensial ravishda kamayadi. Bu holat davolash jarayonida muhim ahamiyat kasb etadi, chunki terapevtik ta’sir aynan patologik o‘choq joylashgan chuqurlikka yo‘naltiriladi.

Litotripsiya akustikaning fundamental qonunlariga asoslanadi. Tosh va yumshoq to‘qimalarning fizik xossalari, xususan zichlik va tovush tezligi farq qilgani sababli ularning akustik impedansi turlicha bo‘ladi. Zarb to‘lqini tosh va to‘qima chegarasiga yetganda impedanslar farqi tufayli energiya notekis taqsimlanadi va tosh ichida yuqori mexanik zo‘riqishlar yuzaga keladi va tosh strukturasida mikro yoriqlar paydo bo‘ladi.



28-rasm

To'liqin toshning orqa yuzasidan aks etganda spallation effekti yuz beradi va cho'zilish kuchlari toshni ichkaridan yoradi. Fokus zonasida kesuvchi zo'riqishlar paydo bo'ladi. Tosh atrofidagi suyuqlikda kavitatsiya jarayoni kuzatiladi: mikro pufakchalar hosil bo'lib, yorilganda lokal zarba beradi va tosh yuzasini yemiradi. Aynan ushbu mexanizmlar kombinatsiyasi toshni mayda fragmentlarga ajratadi.

4.6 Klinikada tovush yordamidagi usullar bilan tekshirishning fizik asoslari.

Tovushning eng muhim mohiyati shundan iboratki, u yorug'lik singari axborot manbai hisoblanadi. Tabiatdagi tovushlar, atrofimizdagi insonlarning nutqi, ishlayotgan mexanizmlar va mashinalarning shovqini bizga juda ko'p

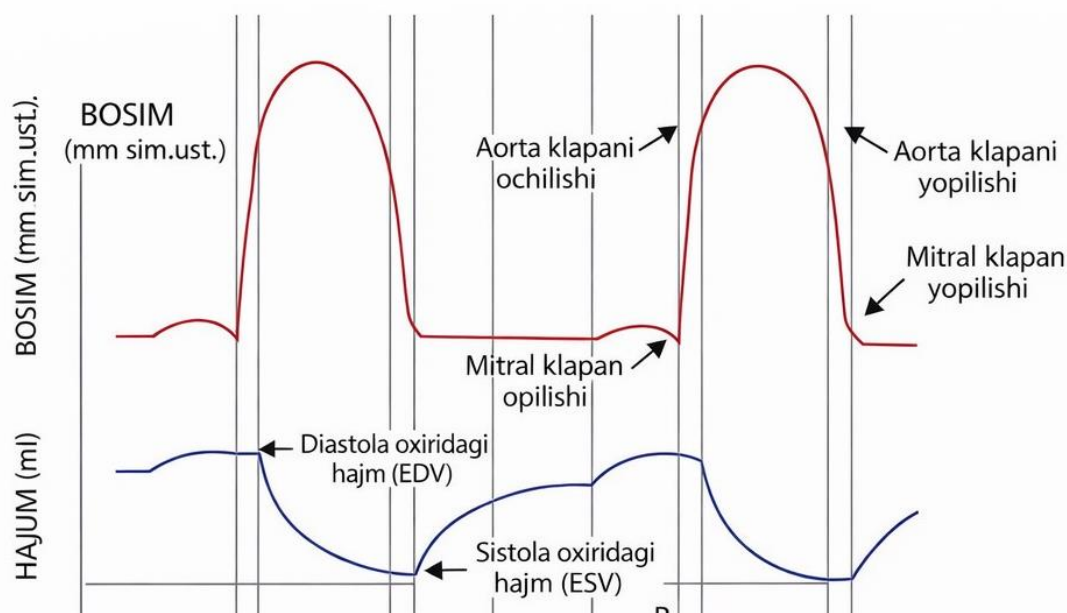
ma'lumot yetkazadi. Tovushning inson hayotidagi ahamiyatini his qilish uchun quloqlarni vaqtincha berkitib, o'zini tovushni qabul qilish imkoniyatidan mahrum etish kifoya. Shuningdek, tovush inson ichki a'zolarining funksional holati haqida ma'lumot beruvchi muhim manba bo'lishi ham mumkin.

Kasalliklarni aniqlashning qadimdan ma'lum bo'lgan usullaridan biri auskultatsiya (eshitib tekshirish) bo'lib, u bizning eramizdan avvalgi II asrdayoq amaliyotda qo'llanilgan. Auskultatsiya jarayonida stetoskop yoki fonendoskopdan foydalaniladi. Fonendoskop kovak kapsula hamda tovushni o'tkazuvchi membranadan iborat qurilma hisoblanadi. Membrana bemor tanasiga qo'yiladi, undan chiqqan ikki naycha esa shifokor qulog'iga ulanadi. Kovak kapsula ichida joylashgan havo ustunida rezonans hodisasi yuz beradi, buning natijasida tovush kuchayadi va auskultatsiya samaradorligi oshadi.

O'pkani auskultatsiya qilish vaqtida nafas olish jarayonida hosil bo'ladigan shovqinlar hamda kasalliklarga xos turli xirillashlar eshitib baholanadi. Yurak tonlaridagi o'zgarishlar va patologik shovqinlarning paydo bo'lishiga qarab, yurak faoliyatining holati to'g'risida xulosa chiqarish mumkin. Auskultatsiya yordamida oshqozon va ichaklardagi to'liqinsimon qisqarishlarning (peristaltikaning) ortiqcha faollashuvi, shuningdek, homilaning yurak urishi ham aniqlanishi mumkin. Bemorni bir vaqtning o'zida bir necha kuzatuvchi ishtirokida, o'quv maqsadlarida yoki konsilium jarayonida eshitish uchun mikrofon, kuchaytirgich, ovoz kuchaytirgich (gromkogovoritel) va bir nechta quloqchinlardan iborat tizim qo'llaniladi.

Yurak faoliyatini diagnostika qilishda auskultatsiyaga o‘xshash bo‘lgan fonokardiografiya (FKG) usuli ham keng qo‘llaniladi. Ushbu metod yurak tonlari va shovqinlarini grafik shaklda qayd etish hamda ularni diagnostik jihatdan tahlil qilish va izohlashga asoslanadi. Fonokardiogramma maxsus fonokardiograf apparati yordamida yozib olinadi. Fonokardiograf mikrofon, kuchaytirgich, chastota filtrlari va qayd qiluvchi qurilmadan tashkil topgan.

Yuqorida bayon etilgan usullardan tubdan farq qiluvchi yana bir diagnostik metod — perkussiya usuli bo‘lib, bunda tana yuzasining turli sohalariga urib ko‘rilganda hosil bo‘ladigan tovush eshitish orqali baholanadi.



29-rasm

Faraz qilaylik, ma‘lum bir jism ichida havo bilan to‘ldirilgan berk bo‘shliq mavjud bo‘lsin. Agar mazkur jismda tovush tebranishlari hosil qilinsa, tebranishlarning muayyan bir chastotasida ushbu berk bo‘shliq ichidagi havo rezonans holatiga o‘tadi va o‘z o‘lchamlari hamda fazodagi joylashuviga mos keluvchi tonni ajratib chiqarib, uni kuchaytiradi.

Inson tanasini ham shartli ravishda gaz bilan to'ldirilgan tuzilmalar (o'pka), suyuqlik saqlovchi ichki a'zolar hamda qattiq tuzilmalar (suyaklar) hajmlarining yig'indisidan tashkil topgan murakkab tizim sifatida tasavvur qilish mumkin. Tana yuzasi bo'ylab urib tekshirilganda keng chastota diapazonini qamrab oluvchi tebranishlar yuzaga keladi. Mazkur diapazondagi ayrim tebranishlar tez so'nib ketadi, boshqalari esa, ya'ni havo bo'shlig'ining xususiy chastotasiga mos tushadiganlari rezonans hodisasi tufayli kuchayib, aniq eshitiladigan tovushga aylanadi. Tajribali shifokor perkussiya jarayonida hosil bo'ladigan tovushning ton xususiyatlarini tahlil qilish orqali ichki a'zolarining funksional holatini hamda ularning topografik joylashuvini aniqlay oladi.

4.7 Ultratovush va uning tibbiyotda qo'llanilishi.

Bir tomonga yo'nalgan, ya'ni yassi to'lqinga yaqin to'lqin hosil qilish uchun manbaaning (to'lqin tarqatayotgan muhit) o'lchamlari to'lqin uzunligidan ko'p marta katta bo'lishi kerak. Havoda tovush to'lqinlarining uzunligi taxminan 15 m dan 15 mm gacha oraliqda yotadi. Suyuq va qattiq muhitlarda to'lqin uzunligi yana ham katta (bu muhitlarda tovush to'lqinlarining tarqalish tezligi havodagiga qaraganda kattaroq). Amalda ana shunday uzunlikdagi bir tomonga yo'nalgan to'lqin yarata oladigan muhit hosil qilish mumkin emas.

Biroq uzunligi ancha kichik bo'lgan ultratovush to'liqlarini hosil qilish masalasida vaziyat boshqacharoqdir. To'liq uzunligi kamaygan sari uning tarqalish jarayonida difraksiya hodisasining ta'siri susayib boradi. Shu bois ultratovush to'liqlaridan yorug'lik nuri singari bir yo'nalishga ega bo'lgan dasta shakllantirish imkoniyati mavjud.

Hozirgi kunda ultratovush to'liqlarini generatsiya qilish uchun asosan ikki fizik hodisadan—teskari pyezoelektrik effekt va magnitostriksiya hodisasidan foydalaniladi. Teskari pyezoelektrik effektning mohiyati shundan iboratki, ayrim kristallardan (masalan, kvars, signet tuzi, bariy titanat va boshqalar) maxsus usulda kesib olingan plastinka tashqi elektr maydoni ta'sirida deformatsiyalanadi, ya'ni maydon yo'nalishiga bog'liq ravishda siqiladi yoki cho'ziladi. Agar bunday plastinka o'zgaruvchan kuchlanish beriladigan metall qoplamalar orasiga joylashtirilsa, unda majburiy mexanik tebranishlar yuzaga keladi. Elektr kuchlanishning o'zgarish chastotasi plastinkaning xususiy tebranish chastotasiga mos kelganda, tebranishlar ayniqsa kuchayadi (rezonans holati yuz beradi). Plastinkaning mexanik tebranishlari uni o'rab turgan suyuq yoki gazsimon muhitga uzatiladi va natijada shu muhitda ultratovush to'liqlari hosil bo'ladi.

Magnetostriksiya hodisasi shundan iboratki, ferromagnit moddalar (temir, nikel, ba'zi bir qotishmalar va boshqalar) ularga magnit maydoni ta'sir qilganda bir oz deformatsiyalanadi. Shuning uchun ferromagnit sterjenni o'zgaruvchan magnit maydoniga (masalan, o'zgaruvchan to'k oqayotgan g'altak ichiga) joylashtirib unda mexanik tebranishlar uyg'otish mumkin. Bu

tebranishlar rezonans sharoitida ayniqsa intensiv bo‘ladi. Mazkur tebranishlar rezonans sharoitida ayniqsa yuqori intensivlikka ega bo‘ladi.

Bir yo‘nalishga ega ultratovush dastalari suv muhitida lokatsiya, ya’ni predmetlarni aniqlash va ulargacha bo‘lgan masofani o‘lchash ishlarida keng qo‘llaniladi. Ultratovush lokatsiyasini birinchi bo‘lib fransuz fizigi P.Lanjeven (1872–1946) ilgari surgan va I jahon urushi davrida suv osti kemalarini aniqlash uchun maxsus qurilma yaratgan. Hozirgi davrda ultratovush lokatorlari aysberglar, baliq galalari va boshqa suv osti obyektlarini aniqlash imkonini beradi.

Ma’lumki, qichqirgandan so‘ng aks sadoning, ya’ni to‘siqdan, qoyadan, o‘rmondan, quduqdagi suvning sathidan va hokazolardan qaytgan tovushning qaytib kelishi uchun ketgan vaqtni aniqlab va bu vaqtning yarmini tovush tezligiga ko‘paytirib to‘siqqacha bo‘lgan masofani topish mumkin. Yuqorida eslatilgan lokator, shuningdek chuqurlikni o‘lchash va dengiz ostining relefini aniqlash uchun ishlatiladigan exolot ana shu prinsipga asoslanib tuzilgan. Kemaga o‘rnatilgan nurlatkich vertikal yo‘nalishda qisqa ultratovush to‘lqinlari yuboradi. Dengiz ostidan qaytgan impulslar qabul qiluvchi qurilma tomonidan qayd qilinadi. Impuls jo‘natilgan payt bilan uni qaytib qabul qilish payti orasida o‘tgan vaqtga asosan chuqurlik hisoblab topiladi.

Ultratovush lokatsiyasi prinsipi tabiatda ham kuzatiladi. Masalan, ko‘rshapalak qorong‘uda uchish vaqtida yo‘nalishni aniqlash uchun ultratovush impulslarini davriy ravishda chiqaradi. Ushbu impulslar atrofdagi jismlardan qaytib, eshitish organi orqali qabul qilinadi va shu yo‘l bilan

ko'rshapalak o'zini o'rab turgan predmetlargacha bo'lgan masofani katta aniqlik bilan belgilay oladi.

1928-yilda Rus olimi S.Y.Sokolov ultratovushni defektoskopiya, ya'ni buyumlarning nuqsonlarini (defektlarini) topish uchun qo'llash usulini taklif etgan. Agar nuqsonning o'lchamlari to'liq uzunligidan katta bo'lsa, u vaqtda ultratovush impuls nuqsondan orqaga qaytib keladi. Buyumga ultratovush impulslarini yuborish va qaytgan impulslarni qayd qilish orqali faqat buyumlarda nuqsonlar borligini bilibgina qolmasdan, bu nuqsonlarning o'lchamlarini va ular qayerda joylashganligini ham aniqlash mumkin. Sokolov va boshqa olimlar ishlab chiqqan ultratovush defektoskopiyasi usuli tobora keng qo'llanilmoqda.

Ultratovush to'liqlari katta intensivlikka ega bo'lib, tarqalayotgan muhitda bosimning kuchli tebranishlarini yuzaga keltiradi. Shu sababli ular qator o'ziga xos fizik-kimyoviy hodisalarni keltirib chiqaradi. Jumladan, suyuqlikda muallaq holda suzib yurgan zarralarning maydalanishi, emulsiyalarning hosil bo'lishi (bir suyuqlik ichida u bilan aralashmaydigan ikkinchi suyuqlikning mayda tomchilar ko'rinishida tarqalishi), diffuziya va erish jarayonlarining jadallashuvi, kimyoviy reaksiyalarning faollashuvi kabi jarayonlar shular jumlasidandir.

Chastotasi 20 kHz dan yuqori bo'lgan mexanik tebranishlar va to'liqlar ultratovush (UT) deb ataladi. Ultratovush chastotalarining yuqori chegarasi taxminan 10^9 Hz deb qabul qilinadi. Ushbu chegara molekulalar orasidagi masofa bilan belgilanadi, shuning uchun ultratovushning tarqalish xususiyatlari moddaning agregat holatiga bog'liq bo'ladi.

Ultratovushni hosil qilish jarayonida maxsus qurilmalar — nurlantirgichlardan foydalaniladi. Amaliyotda teskari pyezoelektrik effektga asoslangan elektromexanik nurlantirgichlar keng qo'llaniladi. Teskari pyezoelektrik effekt jismlarning elektr maydon ta'sirida mexanik deformatsiyalanish hodisasini ifodalaydi. Bunday nurlantirgichning asosiy elementi sifatida pyezoelektrik xossalari yaqqol namoyon bo'ladigan materiallardan — kvarts, segnet tuzi, bariy titanat asosidagi keramik moddalardan tayyorlangan plastina yoki sterjen qo'llaniladi.

Mexanik to'lqinlarning maksimal nurlanishi rezonans sharti bajarilgandagina kuzatiladi. Masalan, qalinligi 1 mm bo'lgan kvarts plastina uchun rezonans chastotasi taxminan 2,87 MHz, segnet tuzi uchun 1,5 MHz, bariy titanat uchun esa 2,75 MHz ni tashkil etadi.

Pyezoeffektning to'g'ri ko'rinishidan foydalanib ultratovush qabul qilgichini (priyomnikni) ham yaratish mumkin. Bunda ultratovush to'lqinlari ta'sirida kristall mexanik deformatsiyalanadi va natijada pyezoelektrik effekt tufayli o'zgaruvchan elektr maydoni hosil bo'ladi. Ushbu maydonga mos o'zgaruvchan kuchlanishni o'lchash orqali ultratovush signali qayd etiladi.

Ultratovushning tibbiyotda qo'llanilishi uning tarqalish mexanizmi va o'ziga xos fizik xususiyatlari bilan bog'liq. Fizik mohiyatiga ko'ra ultratovush ham oddiy tovush singari mexanik (elastik) to'lqin hisoblanadi. Ammo ultratovushning to'lqin uzunligi odatiy eshitiladigan tovush to'lqinlarinikiga qaraganda ancha kichik bo'ladi. Masalan, suv muhitida chastotasi 1 GHz ga teng bo'lgan ultratovush uchun to'lqin uzunligi 1,4 mkm ni tashkil etadi.

To‘lqinlarning difraksiyasi ularning to‘lqin uzunligiga va to‘lqin bilan o‘zaro ta’sirlashayotgan jismning o‘lchamiga bog‘liq. Masalan, 1 m o‘lchamli “noshaffof” jism to‘lqin uzunligi 1,4 m bo‘lgan oddiy tovush to‘lqini uchun sezilarli to‘siq bo‘la olmaydi. Ammo to‘lqin uzunligi 1,4 mm bo‘lgan ultratovush uchun bunday jism to‘siq vazifasini bajaradi va uning ortida ultratovush soyasi hosil bo‘ladi. Shu sababli ayrim hollarda ultratovush to‘lqinlarini difraksiya hodisasini e’tiborga olmasdan, nur kabi ko‘rib chiqish mumkin, ya’ni yorug‘likning tushishi va qaytishini izohlashdagi kabi yondashuv qo‘llaniladi.

Ultratovushning ikki muhit chegarasida aks etishi ushbu muhitlarning to‘lqin qarshiliklari nisbatiga bog‘liq bo‘ladi. Masalan, ultratovush mushak usti pardasi bilan suyak chegarasidan, shuningdek ichki a’zolar yuzalaridan yuqori darajada qaytish xususiyatini namoyon etadi. Shu xususiyat tufayli bir jinsli bo‘lmagan tuzilmalar (masalan, bezlar), turli bo‘shliqlar hamda ichki organlarning joylashuvi va o‘lchamlarini aniqlash imkoniyati mavjud bo‘ladi va ultratovush lokatsiyasi deb ataladi.

Ultratovush lokatsiya metodida uzluksiz va impulsli nurlanish turlari qo‘llaniladi. Uzluksiz nurlanish holatida ikki muhit chegarasidan qaytgan to‘lqin bilan tushayotgan to‘lqin o‘zaro interferensiyaga kirishib, turg‘un to‘lqinlar hosil qiladi. Impulsli usulda esa qaytgan signalning qabul qilinish vaqti o‘lchanadi. Ultratovushning muhitdagi tarqalish tezligi ma’lum bo‘lgan holda, impulsning yuborilishi va qaytib kelishi orasidagi vaqt intervaliga asoslanib obyektning qaysi chuqurlikda joylashgani aniqlanadi.

Biologik muhitlarning to‘lqin qarshiliklari havonikiga nisbatan taxminan 3000 marta katta bo‘ladi. Shu bois ultratovush (UT) nurlantirgichi bevosita inson tanasiga qo‘yilganda, ultratovush to‘lqinlari organizm ichiga kirib bormay, nurlantirgich bilan teri orasida hosil bo‘lgan yupqa havo qatlami chegarasidan aks etadi. Havo oralig‘i paydo bo‘lmasligi uchun nurlantirgich yuzasiga maxsus yupqa moy (kontakt gel) qatlami surtiladi, bu esa akustik muhitlarning moslashuvini ta‘minlaydi.

Biologik ob‘yektlarga ultratovush ta’siri natijasida yuz beradigan asosiy fizik-biologik effektlar quyidagilardan iborat:

- hujayra va subhujayra darajasidagi mikrovibratsiyalar;
- biomakromolekulalarning parchalanishi;
- biologik membranalarning shikastlanishi, ularning fazoviy joylashuvining o‘zgarishi hamda o‘tkazuvchanligining o‘zgarishi;
- issiqlik effekti;
- hujayra va mikroorganizmlarning destruksiya.

Ultratovushning tibbiyot va biologiyada qo‘llanilishi asosan ikki asosiy yo‘nalishga ajratiladi: birinchisi — kuzatuv va diagnostika usullari, ikkinchisi — to‘g‘ridan-to‘g‘ri ta’sir ko‘rsatish metodlari.

Birinchi yo‘nalishga impulsli nurlanishdan foydalanishga asoslangan lokatsion usullar kiradi:

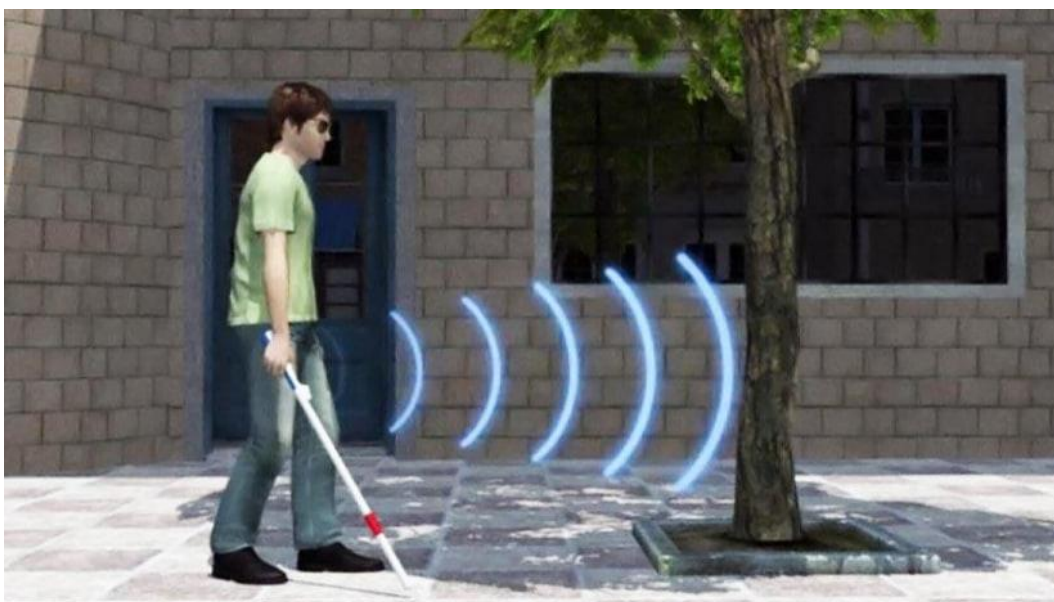
- Exoentsefalografiya — bosh miya o‘smalari va shishlarini aniqlash;
- Ultratovush kardiografiyasi — yurak o‘lchamlarini dinamik kuzatish;
- Oftalmologiyada — ko‘z muhitlarining o‘lchamlarini aniqlash uchun ultratovush lokatsiyasi.

Ultratovush yordamida bemorga ta'sir ko'rsatish maxsus nurlantirgich kallagi orqali amalga oshiriladi. Terapevtik maqsadlarda odatda chastotasi taxminan 800 kHz, o'rtacha intensivligi 1 Vt/sm^2 ga yaqin yoki undan biroz past bo'lgan ultratovush qo'llaniladi.

Ultratovush terapiyasining birlamchi ta'sir mexanizmi to'qimalarga ko'rsatiladigan mexanik va issiqlik effektlari bilan bog'liq. Jarrohlik amaliyotida ultratovush yumshoq va suyak to'qimalarini kesish imkonini beradigan "ultratovush skalpeli" sifatida qo'llaniladi. Suyuqlik muhitida jismlarni parchalash hamda emulsiya hosil qilish xususiyati esa farmatsevtika sanoatida dori vositalarini tayyorlash jarayonida keng foydalaniladi. Ultratovush ishtirokida tayyorlangan dorivor emulsiyalar o'pka kasalliklari, yuqori nafas yo'llari patologiyalari hamda bronxial astmani davolashda keng foydalaniladi.

So'nggi yillarda shikastlangan yoki transplantatsiya qilinadigan suyak to'qimalarini biriktirishning yangi usuli — ultratovush osteosintezi ishlab chiqilgan. Ultratovushning mikroorganizmlarga nisbatan halokatli ta'siri sterilizatsiya jarayonlarida ham qo'llaniladi.

Ultratovushning ko'rlar uchun qo'llanilishi ham e'tiborga loyiqdir. "Orientir" deb ataluvchi kichik qurilma hosil qiladigan ultratovush lokatsiyasi yordamida 10 metr masofagacha joylashgan jismlarni aniqlash va ularning xususiyatini baholash imkoniyati mavjud.



30-rasm. Ultratovush lokatsiyasi

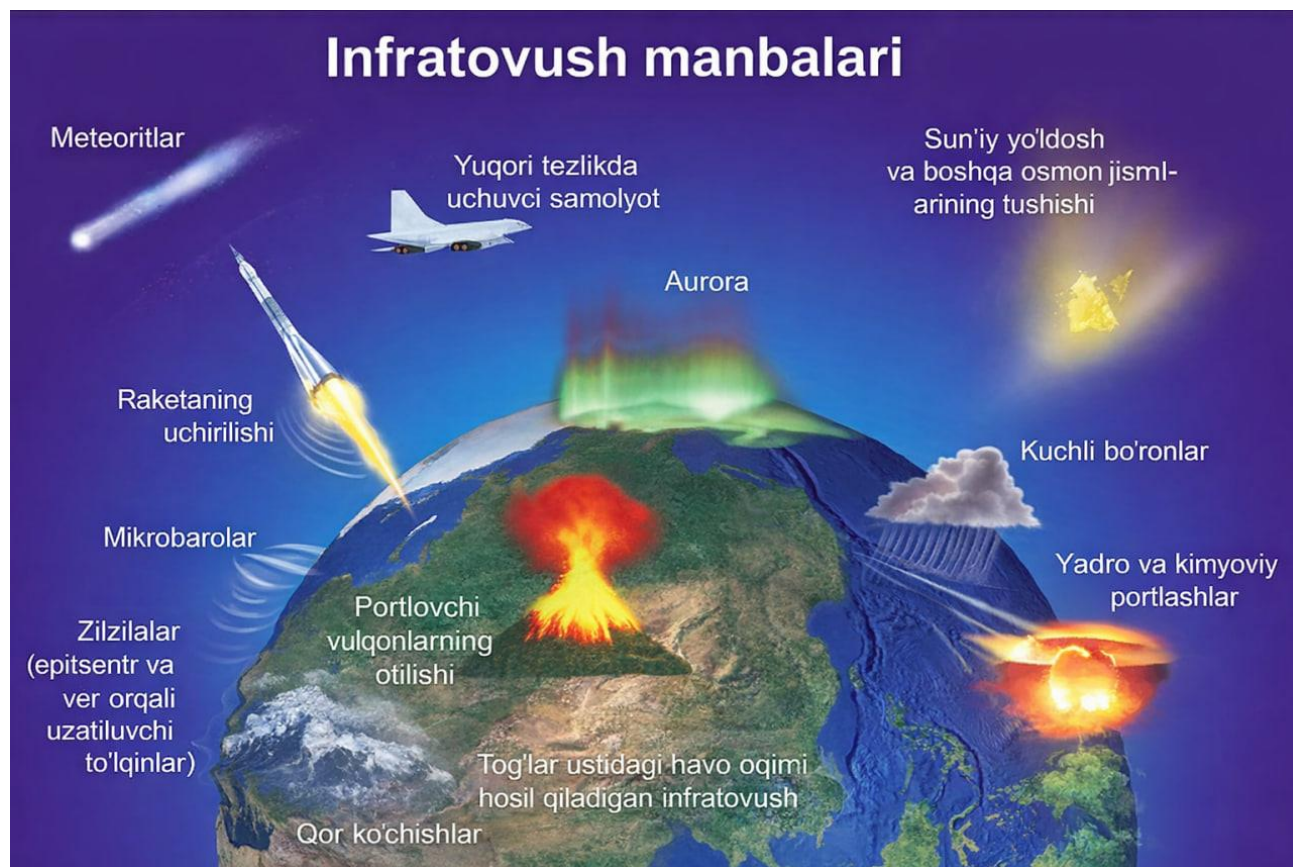
Ultratovushning tibbiyot va biologiyada qo‘llanilishiga doir yuqorida keltirilgan misollar mazkur yo‘nalishda amalga oshirilgan barcha ilmiy izlanishlarni to‘liq qamrab olmaydi, chunki ultratovushdan foydalanish sohalari nihoyatda keng va ko‘p qirrali bo‘lib, uni yanada rivojlantirish istiqbollari ham katta hisoblanadi. Shuningdek, ultratovush golografiyasining tibbiyot amaliyotiga joriy etilishi va undan samarali foydalanish yangi avlod diagnostik usullarining shakllanishiga asos bo‘lishi kutilmoqda.

4.8 Infratovush va uning tibbiyotda qo‘llanilishi

Inson qulog‘i idrok eta oladigan minimal chastota chegarasi (20 Hz) dan past bo‘lgan mexanik (elastik) to‘lqinlar infratovush deb ataladi. Boshqacha aytganda, chastotasi 20 Hz dan kichik bo‘lgan tebranishlar infratovush diapazoniga kiradi.

Infratovush manbalari sifatida tabiiy jarayonlar (masalan, dengiz to‘lqinlari, zilzilalar, momoqaldiraq vaqtida yuzaga keladigan elektr

razryadlari va boshqalar) bilan bir qatorda sun'iy manbalar (portlashlar, transport vositalari, xususan avtomobillar) ham xizmat qiladi.



31-rasm

Infratovush, odatda, eshitiladigan shovqinlar bilan birgalikda namoyon bo'ladi, masalan, avtomashina harakati jarayonida. Shu sababli infratovush to'lqinlarining xususiy parametrlarini, jumladan ularning tarqalish tezligini aniq belgilashda ma'lum qiyinchiliklar yuzaga keladi. Infratovushning muhim xususiyatlaridan biri shundan iboratki, u turli muhitlar tomonidan turlicha darajada yutiladi; aynan shu omil tufayli u juda katta masofalarga tarqalish qobiliyatiga ega. Yer shari bo'ylab infratovushning shunday uzoq masofalarga yoyilishi natijasida kuchli portlashlarni manbadan ancha uzoq joyda turib ham qayd etish, shuningdek o'lchangan infratovush to'lqinlari asosida sunami

xavfini oldindan aniqlash imkoniyati mavjud. Infratovushning to‘lqin uzunligi eshitiladigan tovush to‘lqinlarinikiga nisbatan katta bo‘lganligi sababli, u kuchli difraksiyalanadi, to‘siqlarni aylanib o‘tadi va binolar ichiga erkin kirib bora oladi.

Infratovush organizmning bir qator tizimlarining funksional holatiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi; natijada charchoq, bosh og‘rig‘i, uyquchanlik, asabiylashish va boshqa noxush belgilar paydo bo‘lishi mumkin. Infratovushning organizmga birlamchi ta’sir mexanizmi rezonans xarakterga ega deb taxmin qilinadi. Masalan, inson gavdasining yotgan holatdagi xususiy tebranish chastotasi 3–4 Hz, turgan holatda esa 5–12 Hz ni tashkil etadi; ko‘krak qafasining xususiy tebranish chastotasi 5–8 Hz, qorin bo‘shlig‘iniki esa 3–4 Hz atrofida bo‘lib, ushbu qiymatlar infratovush chastotalari diapazoniga mos keladi. Shu sababli yashash joylarida, ishlab chiqarish korxonalarida hamda transport vositalari hududida infratovush intensivligini kamaytirish gigiena va mehnat muhofazasining dolzarb vazifalaridan.

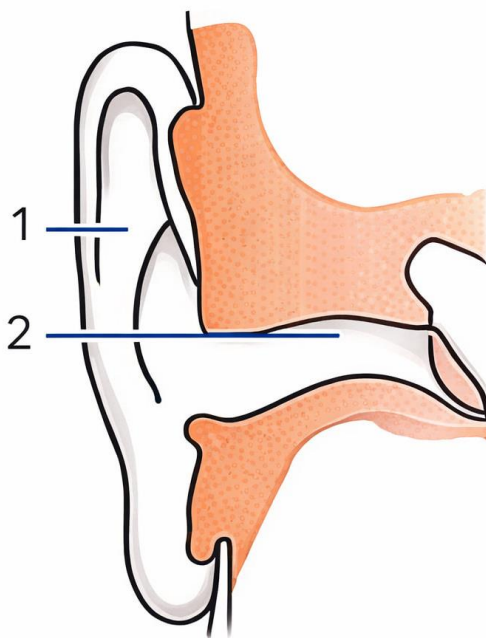
Texnik sohada turli mexanizm va mashinalarda yuzaga keladigan mexanik tebranishlar vibratsiya deb ataladi. Vibratsiya inson organizmiga ham ta’sir ko‘rsatadi; bu ta’sir tananing vibratsiyalanuvchi obyekt bilan bevosita aloqada bo‘lgan nuqtalari orqali uzatiladi. Bunday ta’sir zararli va xavfli bo‘lishi, ayrim sharoitlarda esa vibratsiya kasalligining rivojlanishiga sabab bo‘lishi mumkin. Shu bilan birga, vibratsiyaning ijobiy jihatlari ham mavjud bo‘lib, u davolash maqsadida vibroterapiya va vibromassaj amaliyotida qo‘llaniladi.

5. QULOQ, QULOQ SHIKASTLARI VA KASALLIKLARI. SURDOLOGIYA VA ESHITISHNI PROTEZLASH

5.1 Quloq anatomiyasi

Eshituv va muvozanat a'zosining asosiy tuzilmalari chakka suyagining piramidasimon o'simtasi ichida joylashgan bo'lib, anatomik jihatdan uchta bo'limdan — tashqi, o'rta va ichki quloqdan iborat.

Tashqi quloq (auris externa) quloq suprasi hamda tashqi eshituv yo'lidan tashkil topgan.



1-quloq suprasi, 2-tashqi eshitish yo'li

Quloq suprasi teri bilan qoplangan elastik tog'aydan tashkil topgan bo'lib, tovush to'lqinlarini tutib olish va ularni yo'naltirish vazifasini bajaradi. Tog'ay qismi chetlarida qayrilgan bo'lib, supra burmasini hosil qiladi. Quloq suprasining asosini qalinligi 0,5–1 mm ga teng elastik tog'ay tashkil etadi; u ikki tomondan teri hamda tog'ay usti pardasi bilan qoplangan. Tashqi yuzasida

gajak (heliks), ichki tomonida esa unga qarama-qarshi joylashgan bolishsimon gjak (antigeliks) mavjud. Quloq suprasining oldingi qismida ko'tarilib, tashqi eshituv yo'lini qisman yopib turuvchi bo'rtma supacha (tragus), uning orqa tomonida joylashgan bo'rtma esa qarshi supacha (antitragus) deb ataladi. Pastki qismida tog'ay plastinkasi o'rniga yumshoq yog' qatlami joylashgan bo'lib, ushbu qism quloq yumshog'i nomini olgan. Quloq suprasi voronkasimon tarzda torayib borib, tashqi eshituv yo'liga o'tadi.

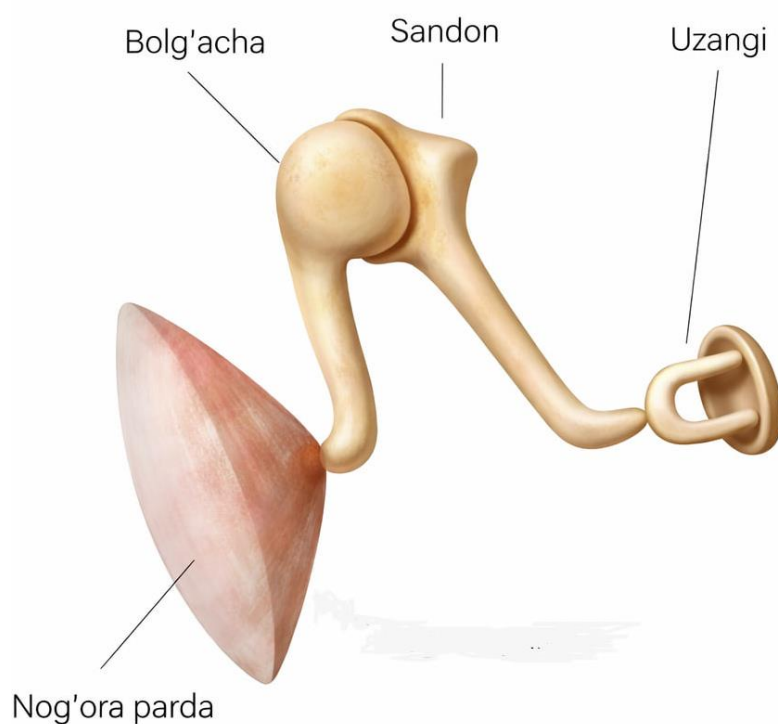
Tashqi eshituv yo'li uzunligi 30–35 mm bo'lgan «S» shaklli kanal bo'lib, tashqaridan quloq teshigi bilan, ichki tomondan esa nog'ora parda bilan chegaralangan. U teri bilan qoplangan bo'lib, quloq suprasi terisining davomi hisoblanadi. Tashqi eshituv yo'lining pardali-tog'aysimon bo'limida terining qalinligi taxminan 1–2 mm bo'lib, bu yerda tuklar, yog' bezlari hamda sera (quloq kiri) ishlab chiqaruvchi bezlar mavjud. Mazkur bezlar o'zgargan yog' bezlari bo'lib, jigarrang sekret ajratadi; ushbu ajralma yog' bezlari mahsuloti va epiteliy hujayralar bilan aralashib, quloq kirini hosil qiladi.

Nog'ora parda (membrana tympani) soat oynasiga o'xshash botiq doira shaklida bo'lib, yupqa va elastik to'qimadan tuzilgan. O'rta yoshdagi insonlarda uning o'lchami taxminan 9×12 mm ni tashkil etadi. Nog'ora parda nog'ora bo'shlig'ining tashqi devori bo'lib, tashqi quloq bilan o'rta quloqni ajratib turadi. Shaklan biroz oval ko'rinishga ega, mustahkam, nisbatan elastik va juda yupqa (taxminan 0,1 mm gacha) anatomik tuzilma hisoblanadi.

Nog'ora parda uch qavatdan iborat: tashqi qavat — bezsiz va so'rg'ichlarsiz teri qavati (tashqi eshituv yo'li terisining davomi), ichki qavat — nog'ora bo'shlig'i shilliq pardasining davomi, o'rta qavat esa biriktiruvchi to'qimadan

tuzilgan ikki qatlamli tolalardan (tashqi radiar va ichki aylana tolalar) iborat. Nog'ora parda tashqi eshituv kanali bilan o'rta quloq chegarasida joylashgan aylana ariqchaga xuddi soat oynasining korpusga joylashganidek mahkam o'rtnashgan.

Tashqi quloq qon bilan asosan uyqu arteriyasi va yuqori jag' arteriyasi tarmoqlari orqali ta'minlanadi. Uning harakat innervatsiyasi yuz nervi tarmoqlari, sezgi innervatsiyasi esa uch shoxli nerv va adashgan nerv tarmoqlari orqali amalga oshiriladi



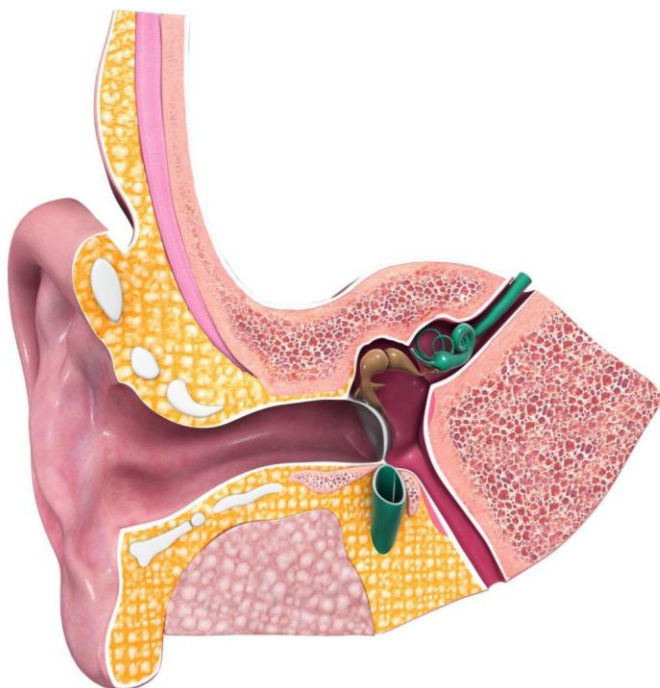
O'rta quloq

O'rta quloq (auris media) nog'ora bo'shlig'i hamda Yevstaxiy nayidan tashkil topgan anatomik tuzilma hisoblanadi. Nog'ora bo'shlig'i (cavum tympani) chakka suyagining toshsimon o'sig'i ichida joylashgan bo'lib, hajmi taxminan 1 sm³ ni tashkil etadi; shakl jihatidan uni notekis kubga qiyoslash mumkin. Nog'ora bo'shlig'i oltita devordan iborat.

1. Yuqori devori, ya'ni nog'ora bo'shlig'ining tomi, yupqa suyak plastinkasidan tuzilgan bo'lib, o'rta quloqni kalla bo'shlig'idan ajratib turadi.
2. Orqa devori nog'ora bo'shlig'ini so'rg'ichsimon o'siq ichida joylashgan havo saqlovchi kataklar bilan tutashtiruvchi bir nechta teshikchalardan iborat.
3. Pastki devori nog'ora bo'shlig'ini bo'yinturuq venaning piyozsimon qismidan ajratib turadi; u ham yupqa suyak plastinkasidan tashkil topgan.
4. Oldingi devori ichki uyqu arteriyasi kanalidan ajralgan bo'lib, uning yuqori qismida eshituv nayining teshigi joylashgan.
5. Ichki devori ham yupqa plastinkadan iborat. Devorning markaziy qismida bo'rtib chiqqan do'nglik mavjud, pastroqda joylashgan dumaloq teshik esa nog'ora parda bilan yopilgan. Do'nglikning yuqoriroq qismida joylashgan oval teshikni o'rta quloqdagi uzangining asosi berkitib turadi. Oval teshik ustida yuz nervi o'tadigan kanal joylashgan; uning devori juda yupqa bo'lib, o'rta quloq patologiyalarida yuz nervining zararlanish ehtimoli mavjud.
6. Tashqi devori o'rta va tashqi quloq chegarasida joylashgan nog'ora pardadan tashkil topgan.

Nog'ora bo'shlig'ining shilliq pardasi burun-halqum shilliq qavatining davomi hisoblanadi. Bo'shliq ichida uchta eshitish suyakchasi — bolg'acha, sandon va uzangi joylashgan. Mazkur suyakchalar o'zaro paylar va boylamlar (bo'g'imlar) orqali birikkan bo'lib, tuzilishi va funksiyasi jihatidan yagona

mexanik zanjirni hosil qiladi; ushbu zanjir nog‘ora pardadan boshlanib, dahliz darchasigacha (oval teshikkacha) uzluksiz davom etadi.



Nog‘ora bo‘shlig‘ida ikkita muskul mavjud: nog‘ora pardani taranglashtiruvchi muskul hamda uzangi muskuli. Ushbu muskullar bir tomondan eshituv suyakchalarini tarang holatda ushlab, tovush tebranishlarining samarali o‘tishini ta‘minlaydi; ikkinchi tomondan esa kuchli tovush zarbalari ta‘sirida reflektor tarzda qisqarib, ichki quloqni ortiqcha mexanik shikastlanishdan himoya qiladi.

Eshituv (Yevstaxiy) nayi orqali nog‘ora bo‘shlig‘i burun-halqum sohasida tashqi muhit bilan tutashadi. U anatomik jihatdan ikki qismdan iborat: qisqa suyak qismi (kanalning taxminan 1/3 qismi) va uzun tog‘aysimon-pardali qismi (kanalning 2/3 qismi). Katta yoshdagi odamlarda uning uzunligi o‘rtacha 3,5 sm, chaqaloqlarda esa taxminan 2 sm ni tashkil etadi; suyak qismi

togʻay qismidan qariyb 2 mm qisqaroq boʻladi. Eshituv nayining yutqin tomondagi teshigi burun-halqumning yon devorida joylashgan boʻlib, pastki burun chigʻanogʻi sohasiga toʻgʻri keladi.

Nogʻora boʻshligʻi qon bilan asosan nogʻora va bigiz-soʻrgʻichsimon arteriyalar orqali taʼminlanadi. Venoz qon esa shu nomli venalar orqali orqaga oqadi. Limfa oqimi eshituv nayi shilliq pardasi boʻylab yutqin orti limfa tugunlariga yoʻnaladi.

Nogʻora boʻshligʻining sezuvchi innervatsiyasi uch shoxli nerv hamda til-halqum nervi tolalari orqali amalga oshadi va ular nogʻora chigali tarkibida birlashadi.

Ichki quloq (auris interna) murakkab anatomik tuzilishga ega boʻlib, chakka suyagining piramidasimon oʻsimtasi ichida joylashgan hamda suyak kanallar tizimi — labirintdan iborat. Suyak labirinti ichida pardasimon labirint mavjud. Pardasimon labirint endolimfa bilan toʻlgan, suyak va pardasimon labirint orasidagi boʻshliq esa kimyoviy tarkibi jihatidan orqa miya suyuqligiga oʻxshash perilimfa bilan toʻldirilgan. Suyak labirinti uchta asosiy qismdan: dahliz, uchta yarim halqasimon kanal va chigʻanoqdan tashkil topadi.

Dahliz (vestibulum) suyak labirintining markaziy qismini hosil qiladi. Uning tashqi devorida dahliz darchasi joylashgan, ichki qarama-qarshi devorida esa pardasimon xaltachalar uchun ikkita yuzaki chuqurcha mavjud. Oldingi xaltacha dahlizning oldingi qismida joylashgan pardasimon chigʻanoq bilan tutashgan, orqa xaltacha esa dahlizning orqa va yuqori qismida joylashgan uchta pardasimon yarim doira kanallari bilan bogʻlangan.

Yarim halqasimon kanallar uchta bo‘lib, ular uch xil tekislikda — gorizontal, frontal va sagittal tekisliklarda joylashgan. Har bir kanal ikki oyoqchadan iborat: ampulyar va oddiy oyoqcha. Oldingi va orqa kanallarning oddiy oyoqchalari o‘zaro qo‘shilib, umumiy oyoqchani hosil qiladi. Shu tariqa uchta yarim halqa kanalining jami oltita oyoqchasi va beshta teshigi mavjud bo‘lib, ularning barchasi dahlizga ochiladi.

Chig‘anoq o‘z o‘qi atrofida 2,5 marta aylanish natijasida shakllangan spiral tuzilma hisoblanadi. Uning asosi ichki eshituv yo‘liga qaragan bo‘lib, undan vintsimon suyak plastinkasi ajraladi. Mazkur plastinka chig‘anoqni ikki spiral yo‘lakchaga bo‘ladi: yuqori yo‘lakcha — dahliz narvonchasi, pastki yo‘lakcha esa nog‘ora narvonchasi deb ataladi. Ushbu ikkala narvoncha bir-biridan ajratilgan bo‘lib, faqat chig‘anoq uchida joylashgan kichik teshik orqali tutashadi. Dahliz narvonchasi dahliz bilan bog‘langan, nog‘ora narvonchasi esa chig‘anoq (aylana) darchasi orqali nog‘ora bo‘shlig‘i bilan chegaradoshdir. Birinchi spiral burama chig‘anoqning asosi hisoblanib, u bo‘rtma hosil qilgan holda nog‘ora bo‘shlig‘i tomoniga chiqib turadi.

Suyak labirinti perilimfa suyuqligi bilan to‘ldirilgan, uning ichida joylashgan pardasimon labirint esa endolimfa bilan to‘lgan. Pardasimon labirint suyak labirintining umumiy shaklini takrorlaydi va o‘zaro tutashgan kanallar hamda bo‘shliqlar tizimidan iborat tuzilmani tashkil etadi.

Chig‘anoq pardasi spiralsimon kanal shaklida bo‘lib, uning ichida eshitish retseptor apparati — spiral (Kortiyev) a‘zosi joylashgan.

Pardasimon yarim aylana kanallar suyak yarim aylana kanallari ichida joylashadi. Ularning diametri suyak kanallariga nisbatan kichikroq bo‘lib,

tuzilish jihatidan ampulyar kengaygan qismi va silliq qismidan iborat. Ular biriktiruvchi to‘qima bo‘rtmalari orqali suyak devorining ichki pardasiga birikkan bo‘lib, bu joylardan qon tomirlari o‘tadi. Pardasimon kanallarning ichki yuzasi endoteliy bilan qoplangan, ampulyar qism bundan mustasno. Ampulaning ichki sathida doirasimon bo‘rtiq — toj (krista) mavjud bo‘lib, unda tayanch va sezuvchi tukli hujayralar joylashgan; ular vestibulyar nervning periferik retseptorlarini tashkil etadi.

Labirint dahlizida ikkita pardasimon xaltacha — sacculus va utriculus joylashgan bo‘lib, ularda otolit apparati mavjud. Bu yerda sezuvchi hujayralarning tukchalari o‘zaro birikib to‘rsimon tuzilma hosil qiladi; uning ustida ko‘plab kristallar saqlovchi dirildoq membrana joylashgan. Ushbu kristallar otolitlar deb ataladi va ular asosan kalsiy karbonat hamda fosfat birikmalaridan iborat. Tukli hujayralarning tukchalari otolitlar bilan birgalikda otolit membranasini hosil qiladi.

Ichki quloq qon bilan ichki eshituv arteriyasi orqali ta’minlanadi. Venoz qon uch asosiy yo‘l orqali qaytadi: chig‘anoq suv yo‘li venasi, dahliz suv yo‘li venasi va ichki eshituv yo‘li venalari orqali.

Ichki quloqning innervatsiyasi VIII juft kalla nervi (eshituv-vestibulyar nerv) orqali amalga oshadi. Ushbu nerv uzunchoq miyadan chiqib, ko‘prikmiyacha burchagi orqali o‘tadi va yagona poya hosil qilgan holda ichki eshituv yo‘liga yo‘naladi.

Vestibulyar soha quyidagi tuzilmalar bilan bog‘langan:

1. orqa miya;
2. miyacha;

3. ko‘zni harakatlantiruvchi nerv yadrolari;
4. vegetativ markaz yadrolari;
5. bosh miya po‘stlog‘i.

Chig‘anoq yo‘llari nerv tolalari o‘tuvchi kanallar bilan teshilgan suyak o‘zak atrofida spiral tarzda o‘ralgan bo‘lib, ushbu o‘zak gorizontal joylashgan duk (modiolus) deb ataladi.

5.2 Quloq fiziologiyasi

Eshitish analizatori fiziologiyasi tashqi quloqdan boshlanib, bosh miya po‘stlog‘ida yakunlanadigan yagona funksional tizimdan iborat. Ushbu tizimning har bir bo‘g‘ini o‘ziga xos vazifani bajaradi; uning biror qismi shikastlansa, eshitish qobiliyati qisman yoki to‘liq yo‘qolishi mumkin.

Eshituv analizatorining adekvat ta’sirlovchisi — tovushdir. Quloq suprasi tovush manbaining yo‘nalishini aniqlashda ishtirok etadi. Uning anatomik shakli va tashqi eshituv yo‘lining tuzilishi tovush to‘lqinlari bosimini ma’lum darajada oshirishga xizmat qiladi.

O‘rta quloq tizimi tovush tebranishlarini maksimal darajada ichki quloqqa yetkazib berishga mo‘ljallangan. Bu jarayon o‘rta quloqda mavjud mexanik tuzilmalar yordamida amalga oshiriladi. Nog‘ora parda tovush energiyasi va bosimini eshituv suyakchalari orqali labirint dahliziga uzatadi.

Eshituv suyakchalari zanjiri ikki antagonistik mushak bilan bog‘langan. Shu tufayli uzangi sohasida tovush bosimi ortadi va nog‘ora parda bilan labirint dahlizi o‘rtasida samarali mexanik aloqa ta’minlanadi.

Inson qulog‘i tashqi muhitdan 16 Hz dan 22000 Hz gacha bo‘lgan chastotadagi tovushlarni qabul qila oladi. Eshitish qobiliyati odatda 20–30 yosh oralig‘ida eng yuqori darajaga yetadi. Eshitish mexanizmining shakllanishi va rivojlanishini tushuntiruvchi bir qator nazariyalar mavjud. Jumladan, Gelmgolsning (1868) rezonans nazariyasi, P. Lazarevning (1925) ion nazariyasi, Bekesining (1960) gidravlik nazariyasi va boshqalar shular jumlasidandir.

Tovush tebranishlarining minimal energiyasi seziladigan darajasi eshitish bo‘lag‘asi deb ataladi. Tovush intensivligini ifodalovchi o‘lchov birligi — detsibel (dB).

Eshituv analizatorining muhim xususiyatlaridan biri tovush manbaining fazodagi joylashuvini aniqlash qobiliyatidir; bu hodisa ototopika deb nomlanadi. Ototopika faqat ikkala quloqning normal va sinxron faoliyati, ya’ni mukammal binaural eshitish sharoitida namoyon bo‘ladi.

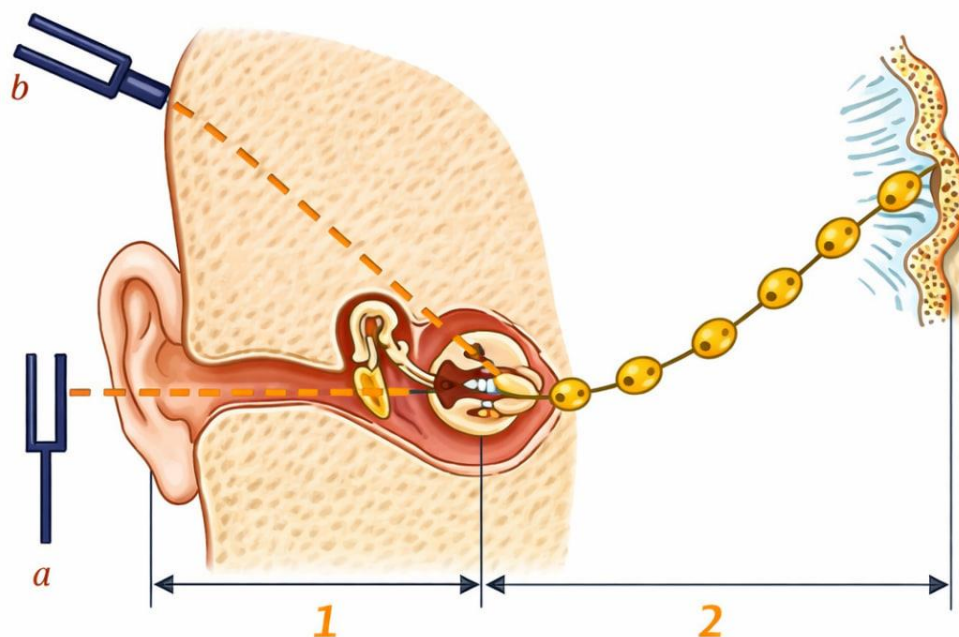
Eshituv analizatorining periferik qismi ikkita asosiy vazifani bajaradi:

1. tovushni o‘tkazish — ya’ni tovush energiyasini retseptor apparatiga yetkazish (bu asosan mexanik-fizik jarayon);
2. tovushni qabul qilish — tovush tebranishlari fizik energiyasining spiral (Kortiy) a’zodagi retseptorlar tomonidan nerv qo‘zg‘alishiga (elektr potentsiallariga) aylantirilishi va keyinchalik miya po‘stlog‘iga uzatilishi.

Mazkur funksiyalarga muvofiq ravishda tovushni o‘tkazuvchi va tovushni qabul qiluvchi apparatlar farqlanadi.

Vestibulyar analizator fiziologiyasi. Vestibulyar apparat muvozanat a’zosi bo‘lib, mushaklar tonusini boshqaradi hamda gavgdani muvozanat

holatida ushlab turadi. U tana holati va fazodagi muvozanat haqidagi axborotni bosh miya po'stlog'iga uzatadi. Vestibulyar retseptorlar qo'zg'alganda mushaklarda reflektor javob reaksiyasi yuzaga keladi, bu esa gavdaning barqarorligini saqlash uchun zarur sharoit yaratadi



a) havo o'tkazuvchanligi b) suyak-to'qima o'tkazuvchanligi

Yarim halqasimon kanallar hamda dahliz xaltachalarining funksiyalari o'zaro farqlanadi. Otolit apparatidan turli reflektor javoblar yuzaga kelishi mumkin. Bunda og'irlik kuchi yoki to'g'ri chiziqli tezlanish dahliz xaltachalarining adekvat ta'sirlovchisi hisoblanadi, ampulyar tuzilmalar uchun esa burchakli tezlanish adekvat qo'zg'atuvchi omil sifatida namoyon bo'ladi.

Yarim halqasimon kanallar qo'zg'alganda ko'ndalang-targ'il mushaklarda bir qator reflekslar — animal reaksiyalar paydo bo'ladi. Ular qatoriga ko'z, qo'l-oyoq, tana va bo'yin mushaklarida kuzatiladigan reflektor

javoblar kiradi. Ko‘z mushaklarida yuzaga keladigan refleks nistagm bilan namoyon bo‘ladi; nistagm ko‘z olmasining ritmik tebranishlari bilan xarakterlanadi va u sekin (sust) hamda tez komponentlardan iborat bo‘ladi.

5.3 Quloqni tekshirish usullari

Quloqni tekshirish jarayoni, avvalo, anamnez yig‘ishdan boshlanadi, undan keyin bemor obyektiv ko‘zdan kechiriladi va eshituv funksiyasi baholanadi. LOR a‘zolarini kompleks tekshirishda quloqni tekshirishdan oldin har doim burun va halqumning funksional hamda anatomik holati ko‘rib chiqiladi.

Bemorning shikoyatlarini aniqlashda quyidagi jihatlarga alohida e‘tibor qaratiladi:

- Quloqda og‘riq mavjudmi? Agar mavjud bo‘lsa, uning xarakteri (o‘tkir, sanchuvchi, pulsatsiyalovchi va boshqalar) qanday?
- Quloqdan yiringli ajralma keladimi?
- Eshitish pasayganmi yoki to‘liq yo‘qolganmi?
- Quloqda shang‘illash (tinnitus) kuzatiladimi?
- Bosh aylanishi mavjudmi?

Shuningdek, bemorning umumiy holati – bosh og‘rig‘i, tana haroratining ko‘tarilishi, et junjikishi kabi belgilar aniqlanadi.

Quloq og‘rig‘i boshlanishidan oldin bemor gripp, o‘tkir respirator infeksiya, o‘tkir tumov kabi kasalliklarni boshdan kechirgan-kechirmaganligi ham aniqlanishi zarur. Quloqni ko‘zdan kechirish quyidagilarni o‘z ichiga oladi:

1. Quloq suprasini tashqi tomondan ko‘rish;
2. Quloq suprasi va so‘rg‘ichsimon o‘simta (processus mastoideus) ni palpatsiya qilish;
3. Tashqi eshituv yo‘li va nog‘ora pardasini otoskopiya yordamida ko‘rish.

Mazkur tekshiruvlar quloq kasalliklarini erta aniqlash va to‘g‘ri tashxis qo‘yishda muhim ahamiyatga ega.

Otoskopiya — tashqi eshituv yo‘li hamda nog‘ora pardasini vizual tekshirish usuli hisoblanadi. Uni amalga oshirishda peshona reflektori va quloq voronkasidan, shuningdek maxsus optik qurilma — otoskopdan foydalaniladi. Otoskopiya jarayonida reflektor teshigi orqali chap ko‘z bilan qaraladi, yorug‘lik manbai esa bemorning o‘ng tomoniga joylashtiriladi.

Quloq voronkasini kiritishdan oldin tashqi eshituv yo‘lining kirish qismi sinchiklab ko‘zdan kechiriladi va uning kengligi baholanadi. Voronkaning kengaygan qismi bosh va ko‘rsatkich barmoqlar yordamida ushlab turiladi. Asbob nozik aylantiruvchi harakatlar bilan ehtiyotkorlik bilan, taxminan 1–1,25 sm chuqurlikkacha, imkon qadar suyak qismiga tegizmasdan kiritiladi. Eshituv yo‘lini to‘g‘rilash maqsadida kattalarda quloq suprasi yuqoriga va orqaga, yosh bolalarda esa pastga va orqaga tortiladi.

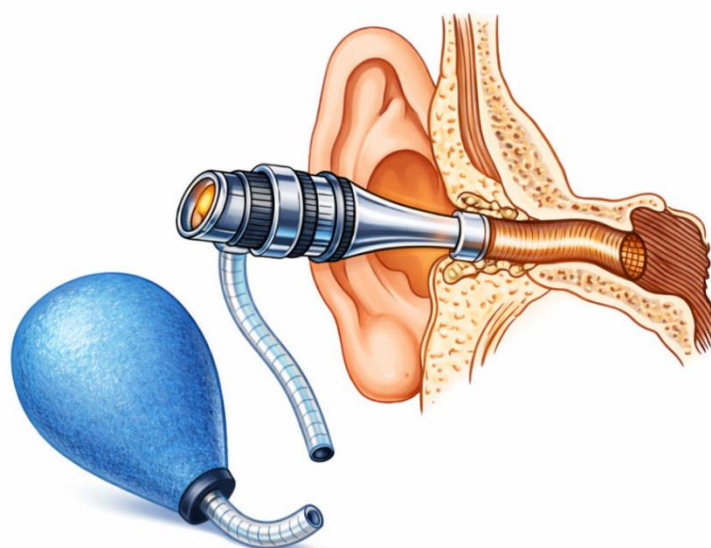
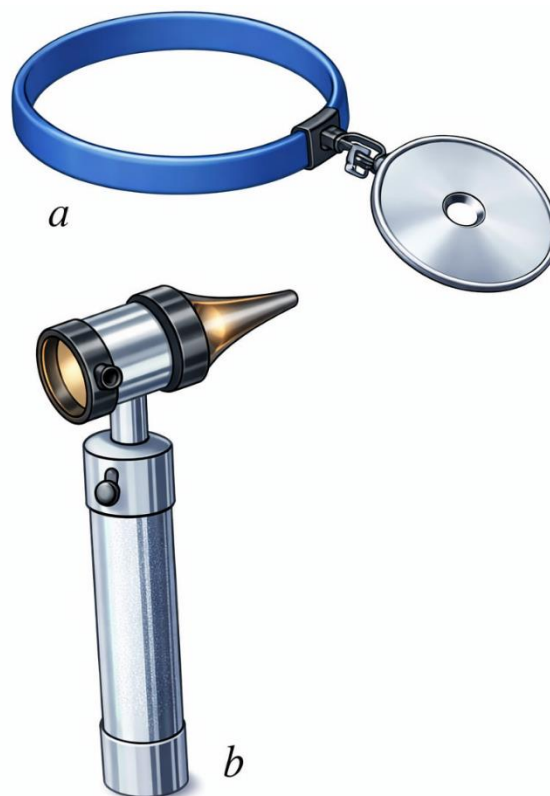
Normal holatdagi nog‘ora parda kulrang-sadaf rangli bo‘lib, oval shaklga ega bo‘ladi. Uning oldingi yuqori qismida tog‘nog‘ich boshchasiga o‘xshash sarg‘imtir-oq tusli bo‘rtma — bolg‘achaning kalta o‘sig‘i ko‘zga tashlanadi. Ushbu o‘siqdan oldinga va orqaga kulrang-oq rangli ikkita chiziq — oldingi va orqa burmalar tarqaladi. Mazkur burmalar nog‘ora pardasining yuqori qismi

— Shrapnell pardasi (pars Shrapnelli)ni pastki, tarang tortilgan qismi — pars tensa dan ajratib turadi.

Bolg'achaning kalta o'sig'idan pastga va biroz orqaroqqa yo'nalgan qismi bolg'acha dastasi deb ataladi; uning kengaygan pastki uchi nog'ora pardasining markaziy qismida joylashadi. Ushbu markaziy nuqta kindik (umbo) nomi bilan yuritiladi.

Nog'ora parda nog'ora bo'shlig'i bilan anatomik va funksional jihatdan chambarchas bog'langan bo'lib, o'rta quloqda yuz beradigan patologik jarayonlar uning ko'rinishida aks etadi. Masalan, pardaning qizarishi o'rta quloqda yallig'lanish jarayoni mavjudligidan dalolat beradi.

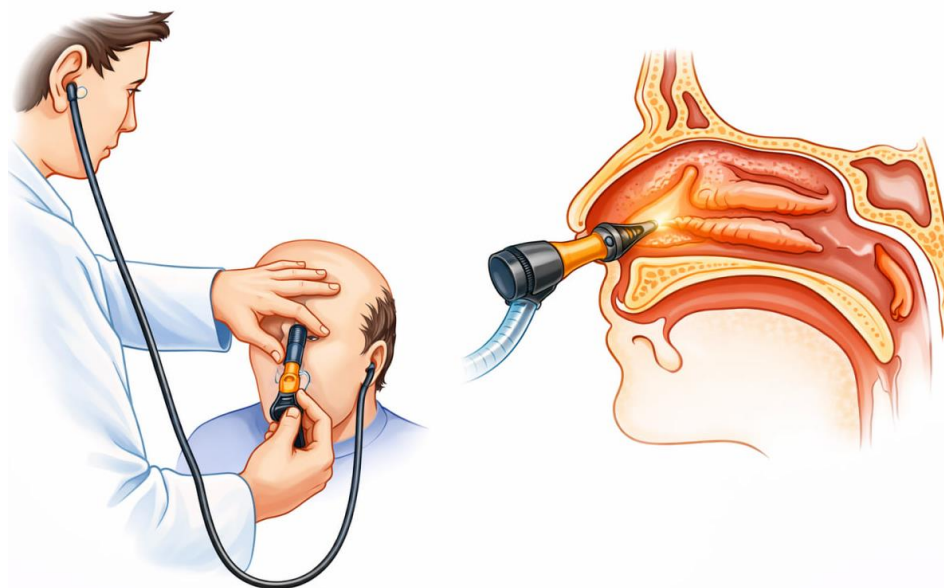
Nog'ora pardasining harakatchanligi pnevmatik voronka yordamida baholanadi. Mazkur asbobning kengaygan uchi lupa bilan germetik tarzda yopilgan bo'lib, yon tomonida rezina ballon bilan tutashuvchi naycha joylashgan. Voronka tashqi



eshituv yo'liga havo o'tkazmaydigan tarzda mahkam joylashtiriladi. Rezina ballon yordamida navbatma-navbat havo yuborish va tortish orqali nog'ora parda tebrantiriladi, uning harakati esa lupa orqali kuzatilib, harakatchanlik darajasi aniqlanadi.

5.4 Quloqning eshituv funksiyasini tekshirish

Eshituv funksiyasi shivirlab va oddiy ovozda so'zlash orqali, shuningdek kamertonlar hamda audiometr yordamida baholanadi. Shivirlab so'zlash orqali eshitishni tekshirish tinch va kengroq xonada o'tkazilishi lozim. Har bir quloq alohida tekshiriladi, bunda tekshirilmayotgan quloq barmoq bilan yopib turiladi. Bemor tekshiruvchiga yuzlanmasdan, qulog'ini uning tomonga qaratib turishi kerak, bu esa so'zlarni lab harakatidan anglab olishning oldini oladi. Tekshiruv davomida shivirlash bir xil darajada va barqaror bo'lishi zarur.



Normal eshitish qobiliyatiga ega quloq tarkibida past tovushlar, ya'ni lab-tanglay undoshlari (b, p, t, m, n) ustunlik qiladigan so'zlar shivirlab aytilganda

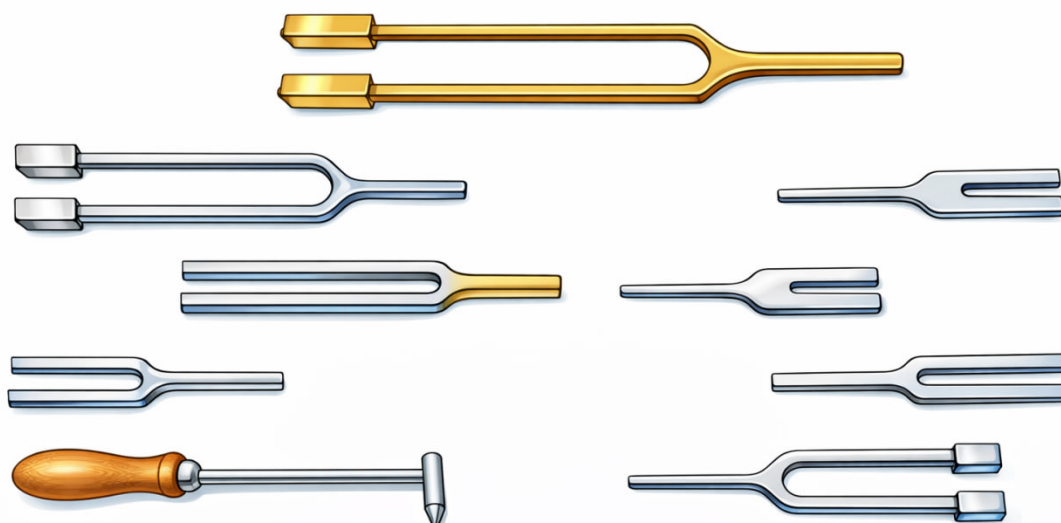
odatda 5–10 m masofadan eshita oladi. Tarkibida baland tovushlar — shiqillovchi va sirgʻaluvchi undoshlar (s, z, ch, sh) ustun boʻlgan soʻzlar esa 20 m gacha boʻlgan masofadan idrok etilishi mumkin.

Eshitishni shivirlab tekshirishda birdan yuzgacha sanash tavsiya etiladi; bunda past tovushli (1, 4, 7) hamda baland tovushli (3, 8, 80) sonlarni tanlab aytish maqsadga muvofiqdir. Agar shivirlab aytilgan soʻzlar taxminan 6–8 m masofadan eshitilsa, eshitish qobiliyati amaliy jihatdan normal deb baholanadi.

Agar bemor shivirlab aytilgan nutqni umuman eshitmasa, tekshiruv oddiy ovozda yoki balandroq ovozda soʻzlash orqali davom ettiriladi. Bir tomonlama karlikni aniqlashda sogʻlom quloqni faqat barmoq bilan yopish yetarli boʻlmaydi, chunki bemor baribir shu quloq orqali eshitishda davom etishi mumkin. Shu bois sogʻlom quloqqa tovush kirishini toʻliq toʻsish maqsadida quloq tartaragi (shovqin beruvchi moslama) qoʻllaniladi. Tartarag ishlayotgan paytda quloq tashqi tovushlarni qabul qila olmaydi.

5.5 Kamertonlar bilan tekshirish

Tovushni oʻtkazuvchi apparat hamda tovushni qabul qiluvchi apparat patologiyalari oʻrtasida differensial diagnostika oʻtkazish, shuningdek eshitish darajasini yanada aniqroq baholash maqsadida eshitishni kamertonlar yordamida tekshirish zarur hisoblanadi. Kamertonlar obertonlarsiz sof ton hosil qiladi va shu sababli eshituv analizatorining turli boʻgʻinlarini baholashda qulay diagnostik vosita sifatida xizmat qiladi.



Eshitilishi mumkin bo'lgan eng yuqori ton eshitishning yuqori chegarasini, eng past ton esa eshitishning quyi chegarasini belgilaydi. Mazkur yuqori va quyi chegaralar orasida idrok etiladigan barcha tonlar eshitish diapazonini tashkil etadi.

Havo o'tkazuvchanligini baholash uchun tebranayotgan (sado berayotgan) kamerton tashqi eshituv yo'li teshigiga yaqinlashtiriladi. Suyak o'tkazuvchanligini aniqlashda esa sado chiqarayotgan kamerton bosh suyagiga yoki so'rg'ichsimon o'siq sohasiga qo'yiladi. Normal eshitish sharoitida havo o'tkazuvchanligi suyak o'tkazuvchanligiga nisbatan uzoqroq davom etadi.

5.6 Veber tajribasi

Veber tajribasi tovushning lateralizatsiyasini, ya'ni qaysi tomonda yaxshiroq eshitilishini aniqlash maqsadida qo'llaniladi. Tekshiruv vaqtida sado berayotgan C-128 kamerton bemorning bosh tepasiga (vertex sohasiga) qo'yiladi va undan tovushni qaysi qulog'i bilan kuchliroq yoki aniqroq eshitayotganligi so'raladi.

Agar tovushni o'tkazuvchi apparat shikastlangan bo'lsa (masalan, tashqi eshituv yo'lida sera — oltingugurt tiqini to'planganda yoki o'rta quloqda yallig'lanish jarayoni mavjud bo'lsa), kamerton tovushi zararlangan quloqda yaxshiroq eshitiladi. Aksincha, tovushni qabul qiluvchi apparat zararlanganda kamerton tovushi sog'lom quloq tomonidan kuchliroq idrok etiladi.

5.7 Rinne tajribasi (suyak va havo o'tkazuvchanligini taqqoslash)

So'rg'ichsimon o'siqqa qo'yilgan va sado berayotgan C-128 kamertonning tovushi eshitilmay qolganidan so'ng, u tashqi eshituv yo'li oldiga yaqinlashtiriladi. Shu tarzda suyak orqali eshitilish davomiyligi havo orqali eshitilish bilan taqqoslanadi. Normal sharoitda tovush suyak orqali taxminan 45 soniya, havo orqali esa 85–90 soniya davomida eshitiladi, ya'ni havo o'tkazuvchanligi suyak o'tkazuvchanligiga nisbatan uzoqroq saqlanadi.

Mazkur natija Rinne tajribasining musbat (Rinne +) ko'rsatkichi deb baholanadi

Musbat Rinne tajribasi eshitish qobiliyati normal bo'lgan shaxslarda, shuningdek tovushni qabul qiluvchi apparat zararlanganda kuzatiladi.

Tovush o'tkazuvchi apparat zararlanganda esa suyak orqali eshitish havo orqali eshitish bilan teng yoki undan ham uzoq davom etishi mumkin. Bunday holat Rinne tajribasining manfiy (Rinne –) natijasi hisoblanadi.

5.8 Shvabax tajribasi

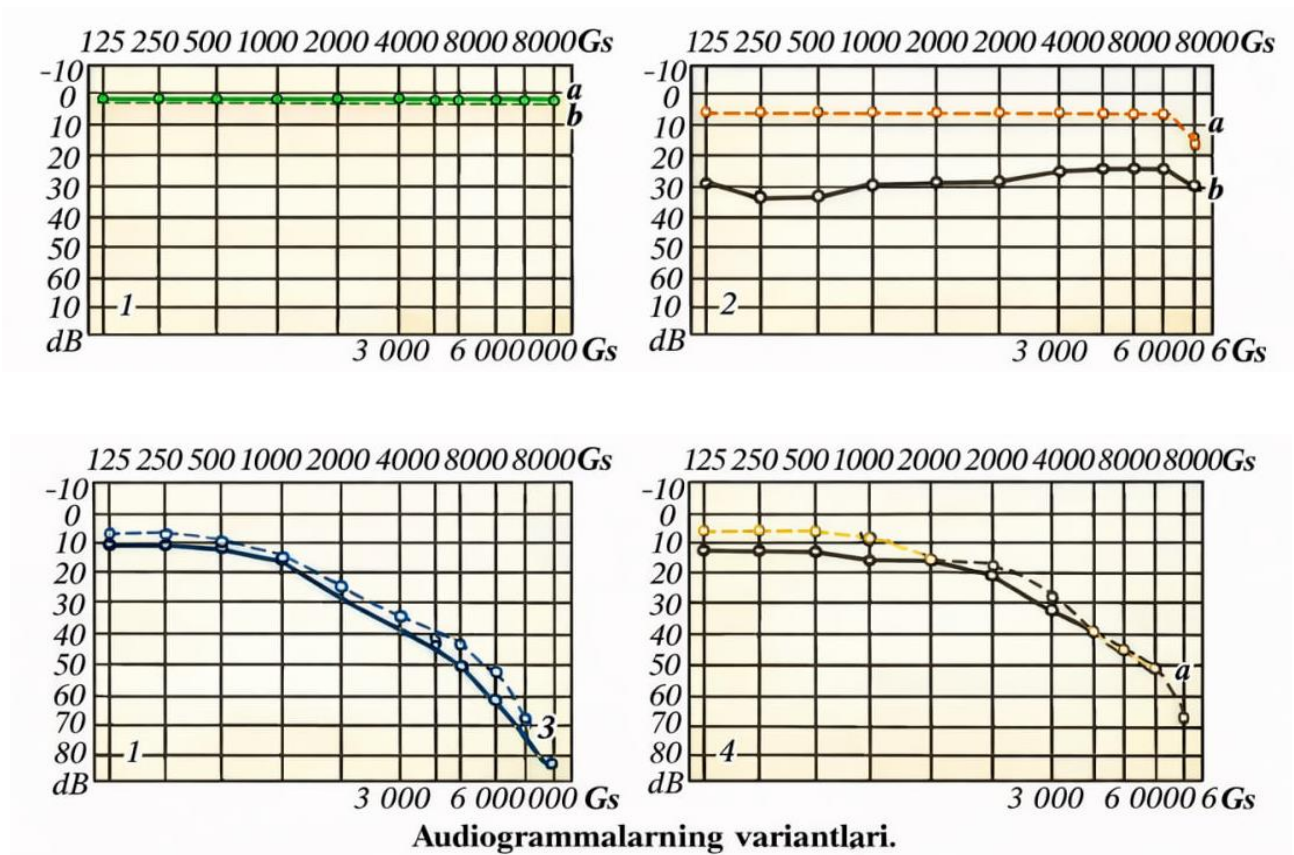
Shvabax tajribasida bemorning suyak o'tkazuvchanligi (boshning tepa suyagi yoki so'rg'ichsimon o'siq sohasida) tekshiruvchining suyak o'tkazuvchanligi bilan taqqoslanadi.

Tovushni o'tkazuvchi apparat shikastlanganda suyak o'tkazuvchanligining davomiyligi uzayadi, tovushni qabul qiluvchi apparat zararlanganda esa u qisqaradi. C-4 kamertoni (sekundiga 2048 tebranish chastotasiga ega) yordamida quloqning yuqori chastotali tonlarni idrok etish qobiliyati baholanadi.

5.9 Eshitishni audiometrik tekshirish

Eshitish buzilishining turi va darajasi haqida yanada aniqroq ma'lumot olish maqsadida audiometriyaning turli metodlaridan foydalaniladi. Sof tonlarni generatsiya qiluvchi maxsus asboblardan yordamida eshitishni tekshirish klinik amaliyotda keng qo'llanadi.

Havo va suyak o'tkazuvchanligi telefonlari orqali bemor qulog'iga turli intensivlik va chastotadagi tovushlar uzatiladi. Bemor tomonidan aniq idrok etilgan eng past intensivlik darajasini aniqlash audiometriyaning asosiy maqsadi hisoblanadi.



Olingan natijalar asosida tuzilgan audiogrammalar eshitish analizatorining holatini baholashga yordam beradi.

Quloqning vestibulyar funksiyasini baholash bemordan shikoyatlarini so‘rash va uni obyektiv ko‘zdan kechirishdan boshlanadi. Vestibulyar apparati shikastlangan bemorlar ko‘pincha bosh aylanishi, yurganda gandarlash, ko‘ngil aynishi hamda qayt qilishdan shikoyat qiladilar. Shu bois kasallik anamnezi batafsil va izchil yig‘ilishi zarur.

Romberg holatida turg‘unlikni tekshirish. Bemor paypoqda, oyoqlarini juft qo‘ygan holda turadi; qo‘llari ko‘krak sathida oldinga cho‘zilgan, barmoqlari ochiq, ko‘zlari esa yumilgan bo‘ladi (yiqilish xavfini oldini olish uchun ehtiyot chorasi ko‘riladi). Labirint funksiyasi buzilganda

bemor nistagmning qarama-qarshi tomoniga og'ib yiqiladi. Agar bemor boshini 90° chapga burib tursa, labirint zararlanishida yiqilish yo'nalishi o'zgaradi; xuddi shunday holat bosh o'ng tomonga burilganda ham kuzatiladi. To'g'ri chiziq bo'ylab va yon tomonga qadam tashlash sinamalari.

1. **To'g'ri chiziq bo'ylab yurish.** Bemor ko'zlari yumilgan holda to'g'ri chiziq bo'ylab 5 qadam orqaga yuradi. Vestibulyar analizator funksiyasi buzilganda bemor to'g'ri yo'nalishdan og'adi va nistagmning qarama-qarshi tomoniga chiqadi. Miyacha zararlanganda esa og'ish zararlangan tomonga kuzatiladi.

2. **Yon tomonga qadam tashlash.** Bemor o'ng oyog'ini o'ng tomonga surib qo'yadi, so'ng chap oyog'ini qo'yadi va shu tarzda 5 qadam tashlaydi; xuddi shunday 5 qadam chap tomonga ham bajariladi. Vestibulyar funksiya buzilganda bemor yon tomonga har ikki yo'nalishda ham qadam tashlay oladi. Miyacha zararlanganda esa bemor zararlangan tomonga qadam tashlashni bajara olmaydi (yiqilish xavfi mavjud).

Ko'rsatuvchi (barmoq-barmoq) tajriba. Shifokor bemor qarshisida o'tirib, qo'lini ko'krak sathida oldinga cho'zadi; ko'rsatkich barmog'i ochiq, qolgan barmoqlar musht qilib bukilgan bo'ladi. Bemor ham qo'lini tizzasidan ko'tarib, xuddi shunday holatda tutadi. U ko'rsatkich barmog'ining yon sathi bilan shifokor barmog'iga tegishi lozim. Avval harakat 3 marta ko'zi ochiq holda, so'ng ko'zlari yumilgan holda bajariladi. Labirint funksiyasi saqlangan bo'lsa, bemor barmoqqa aniq tegadi. Vestibulyar buzilishda bemor har ikki qo'li bilan nistagmga qarama-qarshi tomonga og'adi. Miyacha shikastlanganda esa og'ish zararlangan tomonga kuzatiladi.

Adiadoxokinez. Bu simptom asosan miyacha patologiyasiga xosdir. Bemor Romberg holatida turib, ikki qo‘li bilan tez-tez supinatsiya va pronatsiya harakatlarini bajaradi. Miyacha funksiyasi buzilganda zararlangan tomondagi qo‘l harakati sezilarli darajada orqada qoladi.

Spontan nistagmni aniqlash. Shifokor bemor qarshisida o‘tiradi va ko‘rsatkich barmog‘ini vertikal holatda, bemor ko‘z sathida, 60–70 sm masofada o‘ng tomonda tutadi. Bemor barmoqqa qaraydi va ko‘z harakati kuzatiladi. Ko‘z mushaklarining ortiqcha zo‘riqishiga yo‘l qo‘ymaslik kerak, aks holda fiziologik “uchib turish” paydo bo‘lishi mumkin. Shu tarzda nistagmning mavjudligi aniqlanadi. Agar spontan nistagm qayd etilsa, uning yo‘nalishi, kuchi, amplitudasi va tezligi baholanadi. Tekshiruv bemorni o‘ngga va chapga qaratgan holda ham amalga oshiriladi.

Tug‘ma spontan nistagm ham uchrashi mumkinligini inobatga olish lozim; u qarash yo‘nalishiga bog‘liq emas va sekin hamda tez komponentlarning aniq ajralmasligi bilan tavsiflanadi.

Bemorni ko‘zdan kechirish jarayonida spontan nistagmni bevosita ko‘rish mumkin. Ko‘pincha bu vestibulyar analizator funksiyasining buzilishi bilan bog‘liq bo‘ladi. Nistagm ba‘zan bemor ko‘zini chetga qaratganda, ayrim hollarda esa to‘g‘riga qarab turganda ham kuzatiladi. Vestibulyar funktsiyani baholashda uchta asosiy sinama qo‘llaniladi: aylantirish (rotator), kalorik va pressor sinamalari.

Aylantirish (rotator) sinamasi. Gavda o‘z o‘qi atrofida aylantirilganda yarim halqasimon kanallardagi endolimfaning siljishi yuz beradi. Endolimfaning bunday harakati retseptorlarni qo‘zg‘atadi va natijada nistagm

paydo bo‘ladi. Bemor gorizontal tekislikda aylanadigan maxsus kursiga (Barani kursisi) o‘tkaziladi va vertikal o‘q atrofida 20 soniya davomida 10 marta aylantiriladi. Aylantirish jarayonida yon yarim halqasimon kanallarda endolimfa siljiydi va oqim hosil qiladi. Agar bemor o‘ng tomonga aylantirilib, so‘ng kursi to‘xtatilsa, chap tomonda nistagm kuzatiladi; chap tomonga aylantirilgandan so‘ng to‘xtatilsa esa, o‘ng tomonda nistagm paydo bo‘ladi.

Nistagmni kuzatish uchun kursi to‘xtatilgach, bemordan tekshiruvchining barmog‘iga qarab turish so‘raladi; barmoq nistagm paydo bo‘lishi kutilgan tomonda taxminan 30 sm masofada ushlab turiladi. Vestibulyar analizatorning qo‘zg‘aluvchanligi normal bo‘lgan ko‘pchilik shaxslarda aylantirishdan keyingi nistagm 30–35 soniya davom etadi.

Kalorik sinama. Ushbu sinamaning mohiyati — yarim halqasimon kanallardagi endolimfani sun‘iy ravishda isitish yoki sovutish orqali harakatga keltirishdan iborat. Mazkur usul yordamida har bir labirint alohida baholanadi. Har bir quloqqa galma-gal Jane shprisi yordamida suv yuboriladi: sovuq (16–30°C) suv quyilganda nistagm qarama-qarshi tomonda, iliq (38–41°C) suv yuborilganda esa suv kiritilgan tomonda yuzaga keladi.

Pressor sinama. Shifokor bemor qarshisida o‘tiradi, tashqi eshituv yo‘li kirish qismiga moy surtadi, so‘ng chap qo‘l ko‘rsatkich barmog‘i bilan o‘ng quloq suprasini bosadi yoki maxsus balloncha yordamida eshituv yo‘lidagi havoni siqadi. Labirint funksiyasi me‘yorida bo‘lsa, nistagm kuzatilmaydi. Agar gorizontal yarim halqasimon kanalda fistula mavjud bo‘lsa, nistagm zararlangan tomonda (masalan, o‘ng tomonda) paydo bo‘ladi. Sinama chap

quloqda ham xuddi shu tartibda amalga oshiriladi. Tananing og‘ishi, odatda, nistagm yo‘nalishiga qarama-qarshi tomonga kuzatiladi.

5.9 Surdologiya va eshitishni protezlash

Surdologiya — audiologiyaning alohida yo‘nalishi bo‘lib, karlikka olib keladigan yoki unga sabab bo‘ladigan turli patologik holatlarni aniqlash, davolash hamda profilaktika choralarini ishlab chiqish va o‘rganish bilan shug‘ullanadi.

Hozirgi vaqtda quloq og‘irligi deganda eshitish qobiliyatining shunday darajada pasayishi tushuniladiki, bunda hatto kuchli ovozlarni ham idrok etish qiyinlashadi; bemor yonida gapirilayotgan nutqni ham aniq eshita olmaydi.

Ushbu holatni kar-soqovlikdan farqlash zarur. Kar-soqovlik tug‘ma bo‘lishi mumkin (eshituv analizatorining yetarli rivojlanmaganligi natijasida) yoki orttirilgan shaklda uchraydi. Orttirilgan kar-soqovlik ko‘pincha bolalik davrida o‘tkazilgan o‘tkir yallig‘lanish yoki yuqumli kasalliklar asoratida rivojlanadi. Kar-soqov bolalarda nutq rivojlanishi to‘laqonli shakllanmagan bo‘ladi.

Quloq og‘irligining sabablari va eshitishni protezlash

Ko‘pincha quyidagi omillar quloq og‘irligining rivojlanishiga sabab bo‘ladi:

1. Markaziy nerv tizimi kasalliklari;
2. O‘tkir yuqumli kasalliklar;

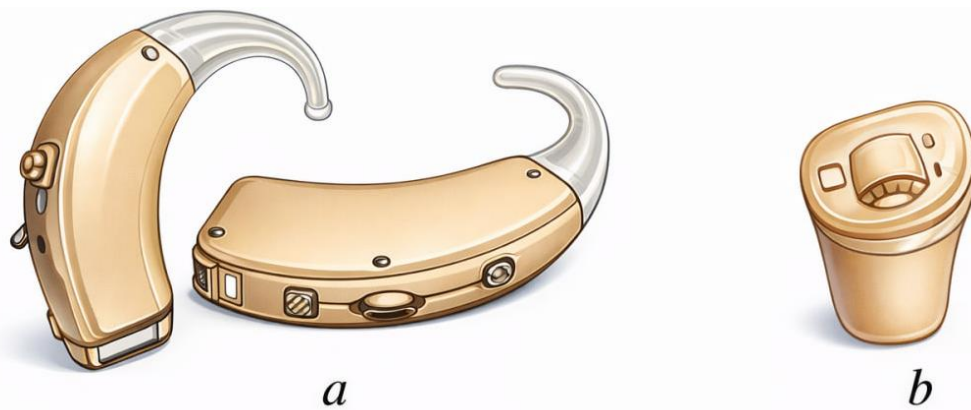
3. Mahalliy yiringli jarayonlar va o'rta quloqning yallig'lanishi, uning rinit bilan birga kechishi, burun shilliq qavatidagi distrofik o'zgarishlar, adenoidlar hamda yuqori nafas yo'llarining boshqa patologik holatlari;
4. Ichki quloqdagi distrofik o'zgarishlar, progressiv nevrit bilan bog'liq quloq og'irligi, otoskleroz, Menyer kasalligi va boshqa patologiyalar. Ushbu kasalliklar patogeneza va morfologik o'zgarishlari jihatidan birbiridan farq qiladi;
5. Travmatik omillar: mexanik (ishlab chiqarish, maishiy, sport jarohatlari va boshqalar), shovqin va vibratsiya ta'siri, ta'siri, tug'ruq jarayoni va yuqumli kasalliklar oqibatida yuzaga kelgan shikastlanishlar.

Nutq qobiliyati shakllangan shaxslarda quloq og'irligi yoki karlik rivojlanganda nutq asta-sekin monotonlashadi, ritmikligi buziladi va boshqa fonetik o'zgarishlar yuzaga keladi. Agar patologik jarayon bolalik davrida, ayniqsa bola hali nutqni o'zlashtirmagan yoki uni to'liq shakllantirmagan paytda paydo bo'lsa, soqovlik rivojlanishi mumkin. Bunday bolalar maxsus kar-soqovlar maktablarida ta'lim oladilar; ular imo-ishoralar orqali nutqni tushunish va talaffuz ko'nikmalarini egallaydilar.

Quloq og'irligi va karlikka olib keluvchi kasalliklarning diagnostikasi tegishli klinik bo'limlarda batafsil yoritilgan. Eshituv analizatori funksiyasini baholash topik diagnostika tamoyillariga asoslanadi. Topik diagnostikaning asosiy maqsadi — tovushni o'tkazuvchi tizim zararlanishini tovushni qabul qiluvchi tizim patologiyasidan farqlashdir.

Eshitish buzilishining profilaktikasi surdologiyaning muhim yoʻnalishlaridan biridir. Bu nafaqat burun va uning atrofidagi suyak boʻshliqlari, oʻrta quloqdagi oʻtkir yalligʻlanish jarayonlari hamda bolalar yuqumli kasalliklarining oldini olishni, balki aholining kasbiy va maishiy sharoitlarini chuqur tahlil qilishni ham talab etadi. Shu nuqtai nazardan quloq ogʻirligi aniqlangan bolalar va oʻsmirlarni dispanser kuzatuviga olish katta ahamiyatga ega.

Eshitishni protezlash deganda quloq ogʻir bemorlarga tovushni kuchaytiruvchi maxsus eshituv apparatini individual tanlab berish tushuniladi. Agar tovushni oʻtkazuvchi apparat shikastlangan boʻlsa, suyak oʻtkazuvchanligi orqali ishlovchi eshituv apparatidan foydalanish tavsiya etiladi. Quloq ogʻirligini davolashda farmakologik vositalar hamda fizioterapevtik usullar keng qoʻllaniladi



a) quloq orti turi b) eshituv yoʻliga solinadigan turi

«Eshitishni protezlash» tushunchasi konservativ va jarrohlik davolash natija bermagan bemorlarga tovushni kuchaytiruvchi apparat tanlashni oʻz

ichiga oladi. Tovush o'tkazuvchi tizimi zararlangan bemorlar uchun eshituv apparati yordamida eshitishni yaxshilash ko'proq samarali hisoblanadi.

Apparat quyidagi holatlarda qo'llaniladi:

1. Mavjud davolash usullari bilan bartaraf etib bo'lmaydigan quloq og'irligi;
2. So'zlashuv zonasida tovushni qabul qilish chastotasi 40 dB dan kamayganda, ammo kamayish 80 dB dan oshmaganda (1 metr masofadan so'zlashuv nutqini qabul qilishda).

Ichki quloqda kechayotgan patologik jarayon mavjud bo'lsa ham, eshituv apparatidan foydalanish zarar keltirmaydi; aksincha, eshitishni yaxshilab bemorga o'z nutqini to'g'rilash imkonini beradi. Bolalarda ham eshituv apparati ularning nutqini yaxshilashga xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Remizov, A. N. (2005). *Tibbiy va biologik fizika*. O'zbekiston milliy ensiklopediyasi Davlat ilmiy nashriyoti.
2. Yusupova, M. S., Nazarova, G. Y., & Shaimova, S. S. (2017). *Quloq, tomoq va burun kasalliklari*. O'zbekiston milliy ensiklopediyasi Davlat ilmiy nashriyoti.
3. Hakimov, P. A., O'sarov, X. S., & Bozorov, O. O. (2019). *Fizika kursi: Mexanika va molekulyar fizika*. Toshkent davlat agrar universiteti Andijon filiali.
4. Bazarbayev, M. I., Mullojanov, I., & Sobirjonov, A. Z. (2018). *Biofizika*. Fan va texnologiya.
5. Qosimova, G. S. (2025). *Biofizika fanidan laboratoriya mashg'ulotlari: O'quv qo'llanma*. № 352808. ISBN 978-9910-8488-1-0.
6. Гайтон, А. К., & Холл, Д. Э. (2018). *Медицинская физиология* (13-е изд.). Москва: Логосфера.
7. Бондаренко, В. М., & (2021). *Физиология сенсорных систем: слух и вестибулярный анализатор* (учеб. пособие). Москва/Санкт-Петербург.
8. Хоровиц, А., & Хилл, У. (2017). *Искусство схемотехники* (3-е изд.).
9. Эльсеев. (2020). *Лучевая диагностика и терапия: ультразвуковая диагностика* (руководство). Москва
10. Балахо, Р. У., & Онрубия, В. (2001). *Клиническая нейрофизиология вестибулярной системы* (3-е изд.). Oxford University Press.

- Baloh, R. W., & Honrubia, V. (2001). *Clinical neurophysiology of the vestibular system* (3rd ed.). Oxford University Press.
11. Evans, D. H., & McDicken, W. N. (2000). *Doppler ultrasound: Physics, instrumentation and signal processing* (2nd ed.). Wiley.
 12. Katz, J., Chasin, M., English, K. M., Hood, L. J., & Tillery, K. L. (Eds.). (2014). *Handbook of clinical audiology* (7th ed.). Wolters Kluwer.
 13. Bickley, L. S. (2017). *Bates' guide to physical examination and history taking* (12th ed.). Wolters Kluwer.
 14. American Institute of Ultrasound in Medicine. (2021). *Statement on biological effects of ultrasound in vivo* (Official statement). AIUM.
 15. World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology. (2024). *Clinical safety statement for diagnostic ultrasound: An overview* (Safety statement). WFUMB.
 16. British Medical Ultrasound Society. (2009). *Guidelines for the safe use of diagnostic ultrasound equipment*. BMUS.
 17. Quarato, C. M. I., et al. (2023). A review on biological effects of ultrasounds: Key messages for clinical practice. *[Review article]*.
 18. Leventhall, G., Pelmear, P., & Benton, S. (2003). *A review of published research on low frequency noise and its effects* (Report for Defra).

MUNDARIJA

1. KIRISH.....	3
1.1 Maqsad va vazifalar.....	4
1.2 Materiallar va metodlar.....	5
2. TEBRANISHLAR VA TO‘LQINLAR, TEBRANMA HARAKAT	
2.1 Garmonik tebranishlar va ularning xarakteristikalar.....	7
2.2 Garmonik tebranish energiyasi.....	12
2.3 Matematik mayatnik.....	15
2.4 Fizik mayatnik	18
2.5 Titrash	21
2.6 So‘nuvchi tebranishlar.....	23
3. TO‘LQINLAR.	
3.1 To‘lqinlarning elastik muhitda tarqalishi.....	26
3.2 Yassi va sferik to‘lqinlar tenglamalari.....	30
3.3 To‘lqin tenglamasi	34
3.4 Elastik to‘lqin energiyasi.....	36
3.5 To‘lqinlar interferensiyasi va difraksiyasi	44
3.6 Turg‘un to‘lqinlar.....	48
3.7 Doppler effekti.....	54
3.8 Dopler effektining tibbiyotda qo‘llanilishi.....	56
4. TOVUSH TO‘LQINLARI VA UNING TIBBIYOTDAGI AHAMIYATI	
4.1 Tovush tabiati. Fizikaviy xarakteristikalar.....	61
4.2 Tovushning sub’yektiv xarakteristikasi.....	64
4.3 Eshituv sezgisining xarakteristikalar. Audiometriya.....	66
4.4 Eshitish apparati tuzilishining fizikaviy asoslari.....	72
4.5 Tovushning yutilishi va so‘nishi hamda uning tibbiyotdagi ahamiyati	82

4.6 Klinikada tovush yordamidagi usullar bilan tekshirishning fizik asoslari....	85
4.7 Ultratovush va uning tibbiyotda qo‘llanilishi.....	88
4.8 Infratovush va uning tibbiyotda qo‘llanilishi.....	96
5. QULOQ, QULOQ SHIKASTLARI VA KASALLIKLARI.	
SURDOLOGIYA VA ESHITISHNI PROTEZLASH.	
5.1 Quloq anatomiyasi.....	99
5.2 Quloq fiziologiyasi.....	107
5.3 Quloqni tekshirish usullari.....	110
5.4 Quloqning eshituv funksiyasini tekshirish.....	113
5.5 Kamertonlar bilan tekshirish.....	114
5.6 Veber tajribasi.....	115
5.7 Rinne tajribasi.....	115
5.8 Shvabax tajribasi.....	116
5.9 Surdologiya va eshitishni protezlash.....	121
6. Foydalanilgan adabiyotlar.....	125