

UOT 614.85 (076)

N.İ.Musayev, E.N.Musayev
Azərbaycan Tibb Universiteti, Respublika xəstəxanası
fizikaelmi@gmail.com

SƏSİN EŞİDİLMƏ SƏVİYYƏSİNİN UCALDILMASINDA ORTA QULAĞIN ROLU

<https://doi.org/10.30546/2520-2049.73.2.2025.214>

Açar sözlər: *orqanizm, səs, eşitmə, qulaq, proses, tənzimləmə*

Məqalə eşitmə prosesinin fiziki əsaslarına həsr edilmişdir. Göstərilmişdir ki, mürəkkəb fizioloji proses olan eşitmə hissi fiziki proseslər əsasında icra olunur. Müəyyən edilmişdir ki, həm alçaq tezlikli səs rəqsləri, həm eşitmə hissi yaradan səs rəqsləri və həm də daha yüksək tezlikli səs rəqslərinin eşitmə orqanına təsiri orta qulaqda baş verən fiziki proseslərlə tənzimlənir.

Məqalədə eşitmə hissəsinin yaranmasında orta qulağın rolu və xarici qulaqdan orta qulağa daxil olan səs dalğalarının enerjisinin tənzimlənməsində orta qulağın oynadığı rolun fiziki əsasları ətraflı araşdırılmışdır.

Н.И.Мусаев, Э.Н.Мусаев

РОЛЬ СРЕДНЕГО УХА В УСИЛЕНИИ ВОСПРИНИМАЕМОГО ЗВУКА

Ключевые слова: *организм, звук, слышимость, ухо, процесс, регулирование*

Статья посвящена физическим основам слухового процесса. Показано, что слух, представляющий собой сложный физиологический процесс, осуществляется на основе физических процессов. Установлено, что как низкочастотные звуковые колебания, звуковые колебания, создающие чувство слуха, так и воздействие звуковых колебаний более высокой частоты на орган слуха регулируются физическими процессами, происходящими в среднем ухе.

В статье подробно рассмотрена роль среднего уха в формировании слуха и физические основы роли среднего уха в регуляции энергии звуковых волн, поступающих в среднее ухо из наружного уха.

N.I.Musayev, E.N.Musayev

THE ROLE OF THE MIDDLE EAR IN THE AMPLIFICATION OF THE HEARING

Keywords: *organism, voice, hearing, ear, process, regulation*

The article is devoted to the physical basis of the hearing process. It has been shown that hearing, which is a complex physiological process, is performed on the basis of physical processes. It has been established that both low-frequency sound oscillations, sound oscillations that create a sense of hearing, and the effect of higher frequency sound oscillations on the auditory organ are regulated by physical processes occurring in the middle ear.

In the article, the role of the middle ear in creating the sense of hearing and the physical basis of the role played by the middle ear in regulating the energy of the sound waves entering the middle ear from the outer ear have been examined in detail.

Canlı orqanizm üzvi aləmin özünü tənzimləməyə qabil ən ali varlığıdır. Ətraf mühitlə maddə və enerji mübadiləsində olan canlı orqanizm ancaq onu əhatə edən ətraf mühitlə qarşılıqlı təsirdə mövcud ola bilər. Bu qarşılıqlı təsir prosesində o özünü tənzimləyir, təzələyir və mövcudluğunu təmin edir. İ. M. Seçenovun qeyd etdiyi kimi, “orqanizm, onun mövcudluğunu təmin edən ətraf mühitsiz mövcud ola bilməz”. Hər bir orqanizm mövcud olma şəraitinə uyğunlaşır və ya həmin şəraiti öz mövcudluğuna uyğunlaşdıraraq özünün varlığını təmin edir. Həmin şəraitdə canlı orqanizm ətraf mühitlə qarşılıqlı təsir nəticəsində öz təşkeildicilərini (toxsuma və orqanlarını), irsi keyfiyyətlərini və s. funksiyalarını formalaşdırır. Ayrı-ayrı elmlərin vəzifəsi də həmin funksiyaları öyrənmək və canlı orqanizmin normal mövcudluğunu təmin etməkdir. O cümlədən canlı orqanizmin eşitmə orqanının funksiyasını bilmək və onun normal fəaliyyətinə yardım etmək müəyyən dərəcədə fizika elminin funksiyasına daxildir [1, 2].

Eşitmə sistemləri, səs dalğalarının qəbul edicisini (daxili qulağı), mərkəzi sinir sistemi ilə (baş beyinlə) birləşdirir, ətraf mühitlə əlaqəni təmin edir və eşitmə funksiyasını yerinə yetirir. Eşitmənin fiziki əsaslarını başa düşmək üçün xarici, orta və daxili qulağın funksiyalarını araşdırmaq lazımdır. Xarici qulaq, qulaq seyvanından və xarici səs ötürücü keçiddən ibarətdir (Şəkil 1). Qulaq seyvanı eşitmə prosesində elə bir əsaslı rol oynamır, o, ancaq səs mənbəyinin yerləşdiyi yeri, yəni onun koordinatını təyin etmək rolunu oynayır. Qulaq seyvanlarının köməyi ilə səs mənbəyinin koordinatı 6° -yə qədər dəqiqliklə təyin edilir. Xarici səs keçidi səs dalğalarını təbii pərdəsinə ötürür və xarici qulağın funksiyasını yerinə yetirir. Xarici və orta qulaq səs ötürücü funksiyasını yerinə yetirir [5].

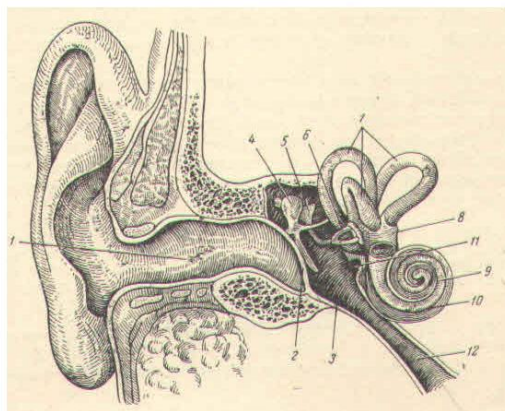
Ayrı-ayrı səs dağaları da, işıq fotonları kimi informasiya mənbəyidir. Təbiət cisimlərinin çıxardığı səslər, bizi əhatə edən insanların danışmaları, işləyən

maşınların səs-küyləri və s. bizə çoxlu miqdarda informasiyalardan xəbər verir. İnsanlar üçün səs dalğalarının əhəmiyyəti də elə bundadır. Bu əhəmiyyəti başa düşmək üçün, öz qulaqlarımızı müvəqqəti olaraq qapayaraq, özümüzü həmin eşitmə imkanlarından məhrum etmək kifayətdir.

Canlı orqanizmlərin eşitmə sistemi: xarici, orta və daxili qulaq hissələrindən ibarətdir (Şəkil 1). Orta qulağın dominant hissələrinə: təbil pərdəsi (tympanic membrane), üç kiçik sümük (ossicles) və onları birləşdirən əzələ, qığırdaq və bağlar aiddir. Bu sümüklər doğuşdan əvvəl yetgin ölçüdə olurlar. Belə fərziyələr var ki, döl ana bətnində olarkən eşidə bilir və körpə doğulmamışdan əvvəl anasının səslərini eşidir və öyrənir [4].

Orta qulağın sümükləri xarici qulaqdakı hava mühitində yayılan mexaniki dalğaları, daxili qulağın maye mühitinə ötürür. Reley qanunundan bildiyimiz kimi daxili qulaq mayesinin dalğa müqaviməti, təxminən suyun dalğa müqavimətinə bərabərdir (pc hasilinə xüsusi akustik impedans, müstəvi dalğalar üçün isə, ona dalğa müqaviməti deyilir. Haradakı, ρ -həmin mühitin sıxlığı, c -isə səs dalğalarının həmin mühitdə yayılma sürətidir). Bildiyimiz kimi səs dalğaları havadan maye mühitin (məsələn, suyun) üzərinə perpendikulyar istiqamətdə düşürsə, düşən səs dalğalarının intensivliyinin ancaq 0,111%-i suya daxil olur. Eşitmə hissi yaratmaq üçün bu çox azdır. Ona görə də orta qulağın əsas vəzifəsi – orta qulağın hava mühitindən daxili qulağın maye mühiti üzərinə düşən səs dalğalarının intensivliyinin daha çox hissəsinin daxili qulağa ötürülməsini təmin etməkdir. Texniki dildən istifadə etsək, deyə bilərik ki, orta qulaq, havanın xarici və orta qulaqdakı dalğa müqavimətini, daxili qulaq mayesinin dalğa müqaviməti ilə uzlaşdırır. Yəni, eşitmə sümükləri təbil pərdəsindəki impedans ilə, daxili qulağın maye ilə dolu kameralarının impedansının uyğunlaşdırılmasında əhəmiyyətli rol oynayır. Ossicles-lər oxşadıqları əşyaların adlarına uyğun adlarla adlandırılmışdır: malleus (çəkic), incus (zindan) və stape (üzəngi).

Bu sümüklər öz aralarında elə birləşmişlər ki, səs dalğalarını təbil pərdəsindən daxili qulağa səmərəli ötürürlər (Şəkil 1). Belə ki, çəkicin dəstəyi (sapı) təbil pərdəsi ilə, çəkicin özü (dəmir başlığı) isə zindan ilə birləşmişdir. Üzəngi isə bir bir tərəfdən çəkicin dəmir başlığı ilə, digər tərəfdən isə daxili



Şəkil 1. Qulağın quruluş sxemi

1 - xarici qulaq keçidi, 2 - təbil pərdəsi, 3 - orta qulağın boşluğu (təbil boşluğu), 4 - çəkic, 5 - zindan, 6 - üzəngi, 7 - yarımdairəvi kanallar, 8 - qapı girişi, 9 - vestibulyar pilləkən, 10 - təbil pilləkəni, 11 - oval pəncərə, 12 - yevstax borusu

qulağın oval pərdəsi ilə birləşmişdir (Şəkil 1). Beləliklə, onlar (təbil pərdəsi və sümüklər) xarici qulağın səs ötürücü borusu vasitəsilə həm eşitmə hissi yaradan səs dalğalarını, həm də hətta səs dalğalarından daha yüksək tezlikli dalğaları da daxili qulağa ötürürlər. İnsan öz səsini, əsasən səs havadan ötürülməsi sayəsində eşidir. Hər iki qulağınızı qapayın və səsizin həcmindəki azalmanı dinləyin, onda deyilənlər aydınlaşar.

Sümüklər sistemindən biri çəkcik, öz dəstəyi (sapı) vasitəsilə təbil pərdəsinə (sahəsi $S_1=64 \text{ mm}^2$) birləşir, çəkicin digər hissəsi isə (dəmir başlığı) zindanla birləşmişdir. Təbil pərdəsinin rəqsi, çəkicin dəstəyi və zindanın çıxıntısı ilə əmələ gələn lingin (manivellanın) daha uzun qoluna (çiyninə, dəstəyə) ötürülür, çəkicin dəmir başına birləşmiş üzəngi isə həmin rəqsləri kiçildilmiş amplitudda, lakin əvəzində isə gücləndirilmiş qüvvədə (təzyiqdə) qəbul edir. Daxili qulağın oval pərdəsinə söykənən üzənginin səthinin sahəsi $S_2=3,2 \text{ mm}^2$ -a bərabərdir. Gücləndirilmiş qiymətdə qüvvəyə malik olan rəqslər daxili qulağın oval pərdəsinə (sahəsi $S_2=3 \text{ mm}^2$) ötürülür. Səsin təbil pərdəsinə göstərdiyi təzyiqi vasitəsilə, yəni, ossicle-larda olan ling fəaliyyəti nəticəsində gücləndirilir. Təbil pərdəsinin sahəsinin oval pəncərənin sahəsi ilə müqayisəsində (1:22 nisbətində) burada daha güclü artma baş verir. Bu artım səs dalğalarının oval pəncərənin membranına olan təzyiqi təxminən 22 dəfə artırır. Bu vəziyyət çox mühüm əhəmiyyətə malikdir. Belə ki, təbil pərdəsinin səthinə düşən nisbətən zəif səs dalğaları, oval pəncərənin membranının müqavimətini dəf etmək imkanına və ilbizdə olan mayeləri (perilimfa və endolimfa mayələrini) hərəkətə gətirmək imkanına malik olur.

Ling güclənməsinin modelini daha ətraflı izah edək. Orta qulaq sümükçükləri vasitəsilə hava mühitində yayılan səs rəqsləri oval pəncərəyə verilir və endolimfa mayesinin rəqsinə çevrilir (səbəb olur). Orta qulağı daxili qulaqdan ayıran divar üzərində oval pərdədən başqa, həm də sərbəst dəyirmi (dairəvi) pəncərə mövcuddur. Oval pəncərənin membranında əmələ gələn rəqslər, ilbizin endolimffa mayeçində yayılaraq sönmədən dairəvi pəncərəyə qədər çatır. Əgər bu pəncərə olmasaydı, onda ilbizin kanalında olan mayenin (endolimfa) sıxılmaması səbəbindən rəqsin alınması mümkün olmazdı.

Model göstərir ki, təbil pərdəsinə təsir göstərən F_m qüvvəsinin, lingin L_m qoluna hasilinin nəticəsi olan moment fırlanması, oval pəncərənin F_0 qüvvəsinin lingin L_0 qoluna hasilindən alınan moment fırlanmasına bərabərdir:

$$M_m = F_m \cdot L_m; \quad M_0 = F_0 \cdot L_0 \quad (1)$$

$M_m=M_0$ olduğundan

$$F_m \cdot L_m = F_0 \cdot L_0 \quad (2)$$

Bu ifadədəki iki qüvvəni: F_m və F_0 -ni oval pəncərənin və təbil pərdəsinin sahəsindən asılılıq formasında göstərmək olar. $F_m=P_m \cdot S_m$ və $F_0=P_0 \cdot S_0$, beləliklə,

$$P_m S_m L_m = P_0 S_0 L_0 \quad (3)$$

Buradan

$$\frac{P_0}{P_m} = \left(\frac{S_m}{S_0} \right) \cdot \left(\frac{L_m}{L_0} \right) \quad (4)$$

Ling qaydasını sxematik olaraq daha ətraflı izah edək. Təbil pərdəsinə P_m səs təzyiqi təsir edir. Bu təzyiq

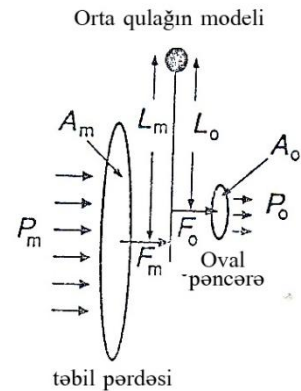
$$F_m = P_m S_m$$

qüvvəsi ilə əlaqədardır.

Bu vaxt daxili qulağın oval pəncərəsinə (pərdəsinə) F_0 qüvvəsi təsir edir və bu qüvvə daxili qulağın mayesinde P_0 təzyiqi yaradır. Onlar arasında əlaqə

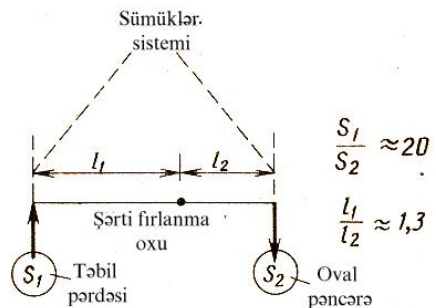
$$F_0 = P_0 S_0$$

kimidir.



Şəkil 2.

Sümüklər xarici qulağın hava mühitindən mexaniki dalğaları daxili qulağın maye mühitinə ötürür. Daxili qulağın dalğa müqaviməti təxminən suyun dalğa müqavimətinə bərabərdir. Ona görə də səs dalğaları hava mühitindən bilavasitə maye mühitinə keçdikdə (düşdükdə) düşən intensivliyin ancaq 0,122% maye mühitə keçir.



Şəkil 3.

Bu çox azdır. Ona görə də orta qulağın əsas vəzifəsi daxili qulağa daha çox intensivliyin ötürülməsini təmin etməkdir. Texniki dildən istifadə etsək, demək olar ki, orta qulaq havanın dalğa müqavimətini, daxili qulağın mayesinin dalğa müqaviməti ilə uzlaşdırır. Sümüklər sistemi ling (manivella) kimi işləyir və insan üçün daxili qulaq tərəfindən qüvvədə 1,3 dəfə uduş verir. Deyilənlər sxematik formada şəkil 3-də göstərilmişdir.

Sümüklər sistemi bir tərəfdə çəkicin dəstəyi vasitəsilə təbil pərdəsi (sahəsi $S_1=64 \text{ mm}^2$), digər tərəfdə isə üzəngi vasitəsilə daxili qulağın oval pəncərəsi ilə ($S_2=3 \text{ mm}^2$) birləşir.

Şəkil 1-də xarici, orta və daxili qulaqların şəkilləri, şəkil 2-də isə təbil pərdəsinin, orta qulağın sümükçüklərinin, onların əzələ, qığırdaq və bağlarla birləşməsinin, daxili qulağın, oval və dairəvi pəncərələrinin anatomik və fəza

həndəsi fiqurlarının sxemi göstərilmişdir. Bu sxemlər əsasında eşitmə prosesində istifadə olunan səs yardımları düsturları tərtib edilmişdir (şəkil 3).

Deyilənləri nəzərə alsaq qeyd edə bilərik ki: orta qulağın əsas vəzifəsi (təyinatı) daxili qulağa daha çox səs intensivliyinin daxil olmasını təmin etməkdir. Texniki dildə deyə bilərik ki, orta qulağın vəzifəsi havanın dalğa müqaviməti ilə daxili qulaq mayelərinin dalğa müqavimətlərini uzlaşdırmaqdır.

Şəkil 3-ə əsasən qeyd edə bilərik ki: sümük sistemləri bir ucdə çəkiclə (çəkicin dəstəyi ilə) təbil pərdəsi ilə birləşir (Sahəsi $S_1=64 \text{ mm}^2$), digər ucdə üzəngi vasitəsi ilə daxili qulağın oval pərdəsi ($S_2=3\text{mm}^2$) birləşir. Təbil pərdəsinə p_1 səs təzyiqini yaradır ki, o da F_1 qüvvəsini törədir:

$$F_1=p_1S_1 \quad (5)$$

Bu vaxt daxili qulağın dairəvi pəncərəsinə F_2 qüvvəsi təsir edir ki, bu da maye mühitdə p_2 təzyiqi yaradır. Onlar arasında əlaqə:

$$F_2=p_2S_2 \quad (6)$$

Sümük sistemləri manivella kimi işləyir və insanın daxili qulağında qüvvədə 1,3 dəfə uduş verir. Ona görə də yazmaq olar:

$$\frac{F_m}{F_0} = \frac{L_0}{L_m} \quad (7)$$

Düsturlar arasındakı əlaqəni nəzərə alsaq alarıq:

$$\frac{F_m}{F_0} = \frac{P_m S_m}{P_0 S_0} = \frac{L_0}{L_m} \quad (8)$$

Buradan:

$$\frac{F_m}{F_0} = \frac{S_m}{S_0} \cdot \frac{L_m}{L_0} = 20 \cdot 1.3 = 26$$

və ya loqarifmik vahidlə

$$L(\text{dB}) = 20 \lg \left(\frac{P_0}{P_m} \right) = 20 \cdot \lg 26 = 20 \cdot 1.415 = 28(\text{dB})$$

Orta qulaq, xarici qulağın yaratdığı təzyiqi bu nisbətdə böyüdərək daxili qulağa ötürür.

Beləliklə, ling fəaliyyəti nəticəsində qüvvə $(L_m/L_0) = 1,3$ faktoru qədər artır. Təbil pərdəsinin faydalı sahəsinin, üzənginin əsasına nisbəti $(A_m/A_0) = 10$ -dir. Bu qazanc plyus ling qazancı 1,3 ümumi təzyiq qazancı üçün təxminən 16 alırıq. Beləki, orta qulaq təzyiq nisbətində 18 dB qazancı təmin edir.

Bu eşitmənin təsirini və həssaslığını artırır. Qazanca başqa bir formada da baxmaq olar. Qazanc, əsasən səs rəqsləri xarici qulaqdan daxil olaraq, daxili qulaq mayelərində rəqs yaradarkən, orta qulağın havanın impedansı ilə daxili qulaq mayesinin impedansının uyğunlaşdırılması hesabına yaranır. İmpedans uyğunluğu dedikdə, təbil pərdəsinin vasitəsilə orta qulağın səs

havadakı enerjisi ilə daxili qulaq mayesindəki enerjisini uyğunlaşdırılması nəzərdə tutulur. Əgər təbil pərdəsi olmasaydı və səs bir başa oval pəncərəyə zərbə endirsəydi, onda səs 99,9%-i əks olunardı və 30 dB itgi olardı. Deməli, orta qulaq 30 dB itgi əvəzinə 18 dB qazanc təmin edir. Orta qulaqda impedansa təsir edən faktorlar, əsasən təbil pərdəsinin gərginliyi (elastikliyi-dartılmış vəziyyətdə olması) və onun kütləsidir. Qulağın impedans uyğunluğu 400-dən 4000 Hs-ə qədər olan intervalda kifayət qədər yaxşı təmin edilir. 400 Hs-dən aşağı «yay» (yəni təbil pərdəsi) çox gərgin (dartılmış) olur və 4000 Hs-dən yuxarı təbil pərdəsinin kütləsi çox böyük olur. Orta qulaq impedans uyğunluğuna yuxarıda təsvir olunan porşen və ling işi nəticəsində təzyiqin gücləndirilməsi ilə kömək edir. Uca səslər eşitmə hissini zədələyə bilər. Orqanizmdə uca səslərdən qorunma mexanizmi mövcuddur. Üzəngi sümüyünə bərkidilmiş üzəngi əzələsi və çəkcə sümüyünün qarmağına birləşmiş təbil əzələsinin vətəri qulağın uca səslərdən mühafizəsində əhəmiyyətli rol oynayır. Uca səs orta qulaqda ossicle-ləri yanlara dartaraq, daxili qulağa çatan səs intensivliyini azaldır. Bu üsulla 15 dB azaltma mümkündür. Bu əzələlər uca səslərin təsirinə 15 ms-ə və daha çox vaxt ərzində cavab verməlidir (uca səs qarşısını almağı çətinləşdirir). Çatmasa zədələnmə bu qısa müddət ərzində baş verə bilər.

Deməli, qeyd etdiyimiz kimi orta qulağın başqa bir funksiyası da səs intensivliyini çox böyük olduqda (eşitmə normasından artıq olduqda) rəqsin daxili qulağa verilməsinin zəiflətməsidir. Bu orta qulaq sümüklərinin əzələlərinin reflektor olaraq boşalması (zəifləməsi) nəticəsində həyata keçirilir. Orta qulaqda iki əzələ mövcuddur: tensor tympani əzələsi və stapedius əzələsi. Bunlardan birincisi, qısalararaq, təbil pərdəsinin gərginliyini (dartılmasını) qüvvətləndirir və qüvvətli səslər təsir etdikdə onun rəqsinin amplitudunu qısaldır (azaldır) və ikincisi isə üzəngini tənzimləyir (düzəldir) və bununla da onun hərəkətini məhdudlaşdırır.

Bu əzələlərin qısalma dərəcəsi, səs rəqslərinin amplitudasının dəyişməsi zamanı dəyişir və avtomatik olaraq səs sümükləri vasitəsilə daxili qulağa daxil olan səs enerjisinin tənzimləyir. Bununlada qulağa daxil olan səs həddindən çox yüksək olduqda təbil pərdəsinin yüksək tezliklə rəqs etməkdən və dağılmaqdan qoruyur. Orta qulağın hər iki əzələsinin qısalması (tənzimlənməsi) reflektor olaraq avtomatik baş verir, artıq yüksək səs təsirindən 10 millisaniyə sonra səs təsiri normallaşır. Təbil boşluğunu burunun tənəffüs yolu ilə birləşdirən yevstaxiyev borusunun hesabına təbil boşluğunda təzyiq normal atmosfer təzyiqinə bərabər olur və nəticədə təbil pərdəsinin normal rəqsi üçün şərait yaranır.

Xarici və orta qulaq səs ötürücü sistemə aiddir. Səs qəbul edən sistem isə daxili qulaqdır.

Mövzunun aktuallığı. Eşitmə prosesinin fiziki əsaslarının araşdırılması tibbi diaqnostika və müalicənin dərinədən öyrənilməsində önəmli rol oynayır.

Mövzunun elmi yeniliyi. Eşitmə prosesində orta qulağın səs yardımlarının fiziki qanunlarla araşdırılması məsələyə elmi yanaşmadır.

Mövzunun təcrübi əhəmiyyəti. Eşitmə orqanında səs dalğalarının fiziki əsaslarının araşdırılması həkimlər, tibb universiteti tələbələri və ümumiyyətlə tibbi personal üçün çox böyük təcrübi əhəmiyyətə malikdir.

ƏDƏBİYYAT

1. *Musayev N. İ.* Tibbi və bioloji Fizikanın ixtisas fənləri ilə əlaqəli tədrisinin elmi-metodik əsasları. Monoqrafiya. Bakı: Hüquq ədəbiyyatı 2010, 509 s.
2. *Musayev N. İ.* Tibbi təhsil müəssisələrində fizika elminin tədrisinə verilən müasir tələblər.// Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının məruzələri, Bakı, 2010, № 4, səh.127-131.
3. *Cəfərov R.* Biofizika kursu üçüncü nəşr (dərs vəsaiti), Bakı, 2016, 223 s.
4. *Бабский Е.Б. и др.* Физиология человека. М. Медицина, 1966, 656 с.
5. *Ремизов А.Н., Максина А.Г., Потапенко А.Я.* Учебник по медицинской и биологической физике. Дрофа, Москва, 2005, 468 с.

Redaksiyaya daxil olub 21.05.2024