

***PSIXOLOGİYA, YAŞ FİZİOLOGİYASI  
VƏ İNKLÜZİV TƏHSİL MƏSƏLƏLƏRİ  
ПСИХОЛОГИЯ, ВОЗРАСТНАЯ ФИЗИОЛОГИЯ  
И ВОПРОСЫ ИНКЛЮЗИВНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ISSUES OF PSYCHOLOGY, AGE PHYSIOLOGY AND INCLUSIVE  
EDUCATION***

*UOT 159.9*

***Novruz İsa oğlu Musayev,***  
*pedaqogika elmləri doktoru, professor*  
*Azərbaycan Tibb Universiteti*

***Elşad Novruz oğlu Musayev***  
*respublika xəstəxanasının şöbə müdiri*

**DAXİLİ QULAQDA ENERJİ ÇEVRİLMƏSİ, SƏSİN ƏMƏLƏ GƏLMƏSİ**

***Novruz İsa oğlu Musayev,***  
*doktor pedagogических наук, профессор*  
*Азербайджанский Медицинский Университет*

***Эльшад Новруз оğlu Мусаев***  
*заведующий отделением республиканской больницы*

**ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВО ВНУТРЕННЕМ УХЕ, ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЗВУКА**

***Novruz İsa Musaev,***  
*doctor of pedagogical sciences, professor*  
*Azerbaijan Medical University*

***Elshad Novruz Musaev***  
*head of the department of the Republican Hospital*

**ENERGY CONVERSION IN THE INNER EAR, VOICE ACTION**

**Xülasə.** Məqalə qulaqda mexaniki rəqslərin (mexaniki enerjinin) elektrik siqnallarına (elektrik enerjisinə) çevrilməsinə həsr edilmişdir. Göstərilmişdir ki, səs rəqsləri daxili qulağın əsas membranı üzərində yerləşmiş korti orqanında baş verən fiziki proses nəticəsində həyata keçirilir. Belə ki, qulağa daxil olan mexaniki (səs) rəqslərinin təsiri ilə, əsas membran rəqsə gəlir (rəqs edir). Nəticədə əsas membran üzərində yerləşmiş eşitmə reseptorları rəqs edir və reseptorların ucunda yerləşmiş tükcüklər örtü lövhəsinə toxunur və bu tükcüklərdə pyezoelektrik effekti nəticəsində, elektrik siqnalları əmələ gəlir. Bu siqnallar səs sinir telləri vasitəsilə mərkəzi sinir sisteminə ötürülür, analiz edilir və uyğun səslər əmələ gəlir.

**Açar sözlər:** *Qulaq, səs, membran, hüceyrə, kanal, eşitmə, funksiya*

**Резюме.** Статья посвящена преобразованию механических колебаний (механической энергии) в электрические сигналы (электрическую энергию) в ухе. Показано, что звуковые колебания осуществляются в результате физического процесса, происходящего в кортиевом органе, расположенном на основной мембране внутреннего уха. Так, под воздействием механических (звуковых) колебаний, поступающих в ухо, основная перепонка приходит в пляс (танцует). В результате слуховые рецеп-

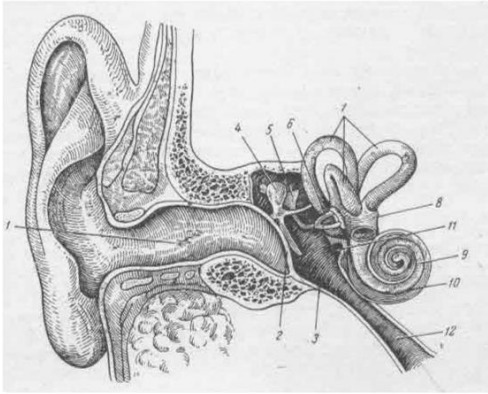
торы, расположенные на основной мембране, колеблются, а волоски, расположенные на концах рецепторов, касаются покровной пластинки, и в результате пьезоэлектрического эффекта в этих волосках генерируются электрические сигналы. Эти сигналы передаются в центральную нервную систему через голосовые связки, анализируются и производятся соответствующие звуки.

**Ключевые слова:** Ухо, звук, мембрана, клетка, канал, слух, функция

**Summary.** The article is devoted to the conversion of mechanical oscillations (mechanical energy) into electrical signals (electrical energy) in the ear. It has been shown that sound oscillations are carried out as a result of a physical process occurring in the organ of Corti located on the main membrane of the inner ear. So, under the influence of mechanical (sound) vibrations entering the ear, the main membrane comes to dance (dances). As a result, the auditory receptors located on the main membrane oscillate, and the hairs located at the end of the receptors touch the cover plate, and as a result of the piezoelectric effect in these hairs, electrical signals are generated. These signals are transmitted to the central nervous system through vocal cords, analyzed and appropriate sounds are produced.

**Key words:** Ear, sound, membrane, cell, channel, hearing, function

Xarici və orta qulaq səs ötürücü, daxili qulaq isə səs qəbuledici sistemdir. Səs ötürücü və səs qəbuledici hissələr ümumi formada şəkil 1-də göstərilmişdir.



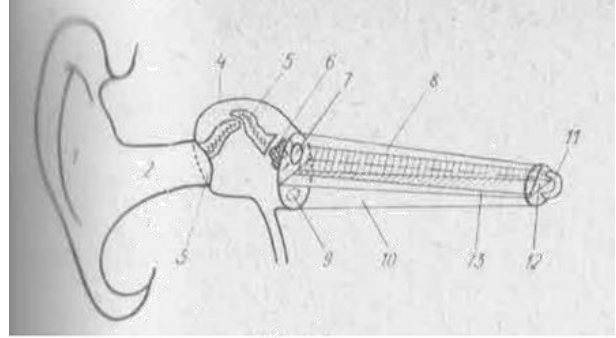
**Şəkil 1. Qulağın quruluş sxemi**

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

Daxili qulağın əsas hissəsi, mexaniki rəqsləri elektrik siqnallarına çevirən ilbizdir (Labirint). İlbizdən başqa vestibulyar aparat da daxili qulağa aiddir. Bu aparatın eşitmə funksiyasına heç bir aidiyyəti yoxdur.

Qulaq bədənin ən ağır sümüyünün- kəllənin daşlıq sümüyünün dibində gizlənmiş və insanın ən yaxşı mühafizə olunan hiss orqanıdır. İnsan qulağının ilbizi, mürəkkəb formalı, getdikcə genişlənən konusvari spiral formasında,  $2\frac{1}{2} \div 2\frac{3}{4}$  burulmadan ibarət olan sümük toxumasından ibarətdir. İlbizin başlanğıcında sümük

kanalının diametri 0,04 mm, onun qurtaracağında isə 0,5 mm-dir. Müşahidənin daha münasib olması üçün, ilbiz açılmış formada şəkil 2-də verilmişdir. Açılmış formada onun uzunluğu təxminən 35 mm-dir. İlbiz konusvari spiral formasında olub, en kəsiyi təxminən dairəvi formadadır. Spiral şəklində onun hündürlüyü təxminən 5 mm, oturacağında diametri isə 9 mm-dir.



**Şəkil 2**

Bütün uzunluğu boyu, demək olarki ilbizin qurtaracağına qədər, sümük kanalı iki aralıq: daha nazik-vestibulyar və ya *Reysner membranı*, və daha sıx və daha elastiki əsas membranlar vasitəsilə üç kanala bölünür. İlbizin təpəsində hər iki membran bir-birinə birləşir. İlbizin təpəsində iki kənar kanallar: vestibulyar və təbil kanalları *helikotrema* deşiyi vasitəsilə biri – biri ilə birləşirlər. Vestibulyar və əsas membranlar ilbizin sümük kanalını üç nazik keçidə (kanalcığa): yuxarı, orta və aşağı bölürlər. İlbizin yuxarı kanalı, və ya *vestibulyar pilləkən* (scala vestibuli) 8, başlanğıcını oval pəncərədən 7 götürüb bütün ilbiz boyu ilbizin təpəsinə qədər gedirb çatır. Digər kanal dəyirmi pəncərədən 9 başlayır, spi-

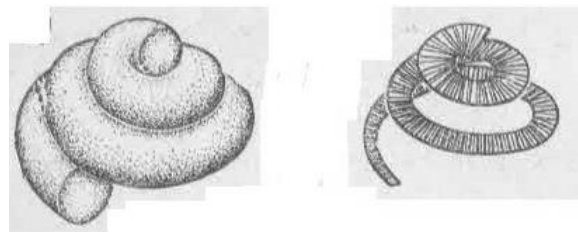
ral boyu ilbizin tƏpƏsinə qƏdƏr gedir, o *tƏbil piləkəni* (scala tympani) 10 adlanır. Vestibulyar və tƏbil piləkənlər, ilbizin tƏpƏsində (qübbəsində) *helikotrema* 11 adlanan kiçik deşik vasitəsilə birləşirlər. Beləliklə, heikotrema deşiyində birləşən hər iki kanal, müəyyən mənada perilimfa mayesi ilə dolu olan bir sistem təşkil edir. Perilimfa mayesi öz tərkibinə görə onurğa beyininin iliyini xatırladır. Üzənginin 6 rəqsi, oval pərdəyə 7, ondan isə perilimfaya mayesinə ötürülür. Rəqsər helikotrema deşiyindən 11 keçir və tƏbil kanalındakı perilimfa mayesi ilə yayılaraq dəyirmi pəncərəni 9 “qabağa gƏrir” (qabardır). Vestibulyar və tƏbil piləkənlər arasındakı boşluq, *ilbiz kanalı* 12 adlanır. Yuxarı və aşıağı kanallar – yəni, vestibulyar və tƏbil kanalları arasındakı (orta) sahə - *membran kanalı* (scala media) yəni, ilbiz kanalı yerləşir. Bu kanalın boşluğu ilbizin başqa kanalları ilə heç bir əlaqəsi yoxdur və bu kanal endolimfa mayesi ilə doludur. Endolimfa mayesi, membran kanalının xarici divarında yerləşən xüsusi bir damar formalaşması – *stria vascularis* tərəfindən istehsal olunur. Endolimfanın tərkibi perilimfanın tərkibindən təxminən 30 dəfə çox kalium ionları və 20 dəfə az natrium ionlarının olması ilə fərqlənir. Endolimfa mayesinin perilimfa mayesindən tərkibcə belə fərqlənməsi, birincinin ikinciyə nəzərən müsbət yüklənməsinə səbəb olur.

Bütün ilbiz boyu, ilbiz kanalı ilə tƏbil kanalı arasında əsas (*bazilyar*) membran (ƏM) 13 yerləşir. Onun üzərində daxili qulağın səs qəbul edən aparatı - *kortiyev üzvü* KÜ (orqanı) yerləşir. Kortiyev üzvü, *reseptor (tükcük) hüceyrələrinə* TH malikdir. Bu tükcük hüceyrələri, qıcıqlanma nəticəsində, səs rəqslərini sinir qıcıqlanmasına transformasiya edir (çevirir). İlbizdən mərkəzi sinir sistemə, səs sinir telləri gedir. Elə, həmin kortiyev üzvü (orqanı) da, mexaniki rəqsləri elektrik siqnallarına çevirən üzvdür.

Əsas membranın uzunluğu təxminən 32 mm-dir. O, oval pəncərədən başlayaraq ilbizin tƏpƏsi (kübbəzi) istiqamətində gah enlənir (genişlənir), gah da ensizləşir (nazikləşir). Sümük kanalı demək olar ki, dairəvi formadadır. Kanalın diametri ilbizin başlanğıcında 0,04 mm, onun sonunda isə 0,5 mm-ə bərabərdir.

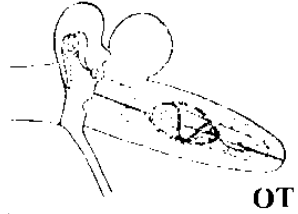
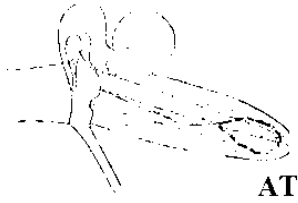
Əsas membran fizika elmi üçün çox maraqlı bir quruluşdur. O, səsin tezliyini seçmə (ayırmaq) xassəsinə malikdir. Buna hələ Al-

man alimi Helmhols diqqət yetirmişdir. Helmhols əsas membranın eninə düzölmüş sinir tellərindən ibarət olduğunu göstərməşdir. Helmhols sinir tellərini, simləri (telləri) sıra ilə düzölmüş və dartılmış vəziyyətdə olan pianinoya bənzətməmiş və eşitmənin rezonans nəzəriyyəsini vermişdir (şəkil 3).

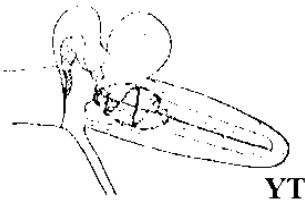


Şəkil 3

Helmholsun rezonans nəzəriyyəsində görə, eninə istiqamətdə düzölmüş və dartılmış vəziyyətdə olan sinir tellərinin hər biri, onun özünə aid olan müəyyən məxsusi tezliyə malikdirlər. Oval pəncərəyə yaxın tərəfdə sinir telləri daha çox gƏrilmiş vəziyyətdə olur, ilbizin tƏpƏsinə yaxın tərəfdə əsas membranın sinir telləri nisbətən az gƏrilmiş vəziyyətdə olurlar. Hər hansı səs dalğası qulağa daxil olarkən, daxili qulağın əsas membranında olan o sinir tellərindən, o sinir teli rəqsə gƏlir (rəqs edir) ki, onun məxsusi tezliyi, qulağa daxil olan səs dalğasının əsas tezliyinə bərabər olmuş olsun. Nobel mükafatı laureatı Fon Bekeşi, Helmholsun rezonans nəzəriyyəsindən səhv olduğunu müəyyən etmişdir. Bekeşi bir qədər əvvəl ölmüş adamın daxili qulağında apardığı təcrübə nəticəsində müəyyən etmişdir ki, əsas membran mexaniki rəqsləri əmələ gətirən (törədən) bircins olmayan xətti törəmədir (varlıqdır). Akustik stimulla əsas membrana təsir etdikdə, əsas membran boyunca dalğa yayılır. Tezlikdən asılı olaraq bu dalğa əsas membranın müxtəlif yerlərində (nahiyələrində) müxtəlif dərəcədə sönür (şəkil 4). Tezlik nə qədər az olarsa, dalğa sönənə qədər, oval pəncərədən başlayaraq əsas membran boyunca o qədər çox məsafəyə (uzağa) yayılır. Belə ki, məsələn, tezliyi 300 Hs olan dalğa, sönməyə başlayana qədər, oval pəncərədən təxminən 25 mm məsafəyə qədər yayılır, tezliyi 100 Hs olan dalğa isə, öz maksimumunu əsas membranın qurtaracağına təxminən 30 mm yaxınlığında əldə edir



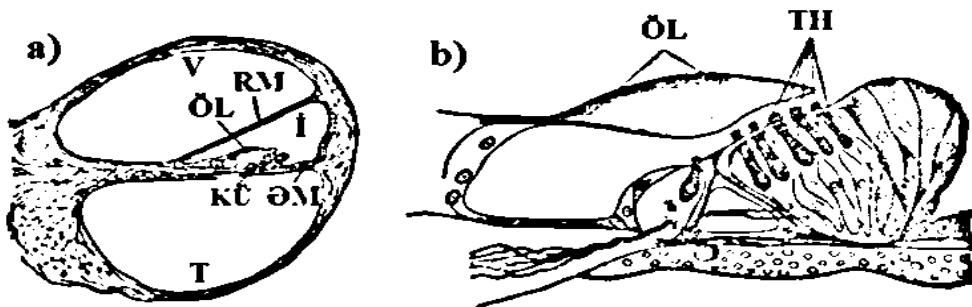
Şəkil 4



Aparılan təcrübələr əsasında müəyyən nəzəriyyə işlənib hazırlanmışdır. Bu nəzəriyyəyə əsasən tonun yüksəkliyinin qavranılması, əsas membranın rəqsi zamanı əmələ gələn maksimum, əsas membranın üzərindəki yeri (vəziyyəti) ilə müəyyənləşdirilir. Beləliklə, daxili qulaqda müəyyən funksional ardıcılıq (silsilə) əmələ gəlir (öyrənilir): oval pəncərənin membranının rəqsi – perilympfanın rəqsi - əsas membranın mürəkkəb rəqsi – tükcük hüceyrələrinin (kortiyev üzvünün reseptorlarının) qıcıqlanması – elektrik siqnallarının generasiyası (əmələ gəlməsi).

Karlıqın bəzi formaları ilbizin reseptor aparatının zədələnməsi ilə bağlı olur. Bu halda, mexaniki rəqslərin təsiri zamanı, ilbiz elektrik siqnalları generasiya etmir (əmələ gətirmir). Belə karlara kömək göstərmək olur. Bunun üçün ilbizə elektrodlar implantasiya etmək (yerləşdirmək, köçürmək) və ona, tezliyi sağlam qulaqda mexaniki stimül təsir edərkən, əmələ gələn (törəyən) elektrik siqnalının tezliyinə bərabər olan (uyğun gələn) elektrik siqnalı vermək lazımdır. İlbizin əsas funksiyasının belə protezləşdirilməsi koxlear protezləşdirmə əməliyyatı adlanır və müxtəlif ölkələrdə həyata keçirilir.

Beyin üçün mexaniki rəqsləri (səs enerjisini) elektrik siqnallarına (sinir impulslarına) çevirən dəyişdiricilər (çeviricilər), korti üzvündə yerləşən tükcük hüceyrələri - reseptorlarıdır. Əsas membran üzərində iki qat da - təbəqə (cərgədə) tükcük hüceyrələri TH (reseptorları) yerləşmişdir (şəkil 5). Onların daxili təbəqəsi bir cərgədən ibarət reseptor hüceyrələridir. Membran kanalı üzərində onların ümumi sayı 3500-ə çatır. Xarici qat 3-4 hüceyrə cərgəsindən əmələ gəlmişdir, ümumi sayı isə 12000-20000-dən ibarətdir. Kortiyev üzvünün hər bir reseptor hüceyrəsi uzunsov formaya malikdir. Hüceyrənin bir ucu (qütübü) əsas membranda yerləşir (dayanır); ikinci qütüb isə, ilbizin membran kanalı içərisindədir. Reseptor hüceyrənin bu qütübünün ucunda uzunluğu 4 mk olan 60-70 tükcüklər yerləşmişdir, hansılar ki, membran kanalının endolimfa mayesi ilə əhatə olunmuşdur (onunla toxunur).



Şəkil 5

Bütün membran kanalı boyunca, reseptor hüceyrələrin tükcükərinin üzərində örtü lövhəsi ÖL (membrana tectoria) yerləşmişdir.

Səslər təsir etdikdə, əsas membran rəqs etməyə başlayır və reseptor hüceyrələrin tükcükləri örtü lövhəsinə toxunur, deformasiya edir və

toxunan tükcüklərdə pyzeoelektrik effekti baş verir. Tükcüklərin bu deformasiyası reseptor hüceyrələrin qıcıqlanmasına səbəb olur. 10 000 Hz tezlikli səs eşidilən zaman, Kortiyev orqanında yerləşən sinirlər, eşitmə spektrinin həmin tezliklər (yəni daxil olan səslərin) pozisiyasının alınması

nın göstəricisi olan nəbz seriyaları göndərir. Tükcük hüceyrələrin düzöldüyü bazal membranda uzunluğu bir neçə mikrona yaxın olan, 100 kiprikdən əmələ gəlmiş, (yığılmış) kiprik dəstələri vardır. Kipriklər Korti orqanındakı mayenin təsiri altındadır. Tükcüklər maye ilə sürüldükdə kipriklərdə mikroskopik qüvvə yaradır, onları əyməyə yönəldir (onları əyir). Onlar uyğun istiqamətdə əyilirlərsə, potensial iş yaradan gərginliyi əmələ gətirirlər.

Labirintdə müxtəlif kiprik hüceyrələri mövcuddur. Sacculus və Utrikulus–da təxminən 15 000 və 30 000, tükcük hüceyrələri vardır. Bu tükcük hüceyrələri uyğun olaraq həmin yerlərdə xətti təcili ölçmək üçündür. Bucaq təcilini ölçmək üçün üç yarım halqa kanalın hərəsində 7000 tükcük hüceyrəsi vardır. İlbizdə bir sıra daxili və üç sıra xarici kiprik hüceyrələri vardır. Hər sıradada təxminən 4000 kiprik hüceyrəsi vardır. Bütün membran uzunluğu (34 sm) boyu yerləşən tükcük hüceyrələri oval pəncərədən daxil olan təzyiqli dalğasının təsirindən yaranan hərəkəti aşkar edir. Onlar səs dalğalarını elektrik siqnallarına çevirən əsas keçiricilərdir.

10 nm (1 nm,  $10^{-9}$  m-ə bərabərdir) hissənin həddən artıq kiçik hərəkəti, siqnal yarada bilər. Bizim qulaq milyarddan çox dinamik

sıranə örtür və bir neçə mikrosaniyənin zaman ölçməsinə yerinə yetirə bilər (aparır). Xarici sıra tükcük hüceyrələrin rolu hələ yaxşı anlaşılmayıb (öyrənilməyib). Görünür onlar gələn zəif səs dalğalarının güclənməsində mexaniki rol oynayır.

Tükcük hüceyrələrin cavab reaksiyalarının başa salınmasından (çatdırılmasından,- hiss edilməsindən), görünür (məüyyən edilir) ki, bəzi cavablar bir neçə mikrosaniyə arasında (ardıcılığında) baş verirlər. Potensial fəaliyyəti və əzələ cavabı millisaniyə ərzində (ardıcılığında) baş verdiyindən daha tez yerinə yetirilən mexanizm lazımdır. Belə görünür ki, bir tükcük hüceyrəsinin molekulunda elektrik yığılması, belə tez cavabı hesablamaq üçün lazımdır.

**Problemin aktuallığı.** Məqalə insan sağlamlığı üçün çox vacib sahə olan (rol oynayan) eşitmənin araşdırılmasına həsr edilmişdir.

**Problemin elmi yeniliyi.** Daxili qulaqda enerji çevrilməsinin araşdırılması – mexaniki rəqslərin elektrik siqnallarına çevrilməsinin araşdırılması, elmi tədqiqat sahəsində müasir yanaşmadır.

**Problemin praktik əhəmiyyəti.** Tədqiqat işi bütün tibb işçiləri, tibb universitet tələbələri və ümumilikdə tibbi təhsil və tədqiqat işçiləri üçün çox əhəmiyyətlidir.

#### Ədəbiyyat:

1. Musayev N. İ. Tibbi və bioloji fizikanın ixtisas fənləri ilə əlaqəli tədrisinin elmi-metodik əsasları (monografiya). -Bakı: Hüquq ədəbiyyatı, -2010. -509 s.
2. Ремизов А. Н. Медицинская и биологическая физика. -Москва: Высшая школа, 1987. -637 с.
3. Бабский Е. Б. и др. Физиология человека -М.: Медицина, -1966. -656 с.

**E-mail:** fizikaelmi@qmail.com

**Rəyçilər:** ped.ü.fəls.dok. E.M. Mahmudova,  
ped.ü.fəls.dok. L.H. İmanova

**Redaksiyaya daxil olub:** 17.04.2023