

Тайните на човешкото ухо

Николай Лазаров

Слухът е едно от петте основни сетива, което, наред със зрението, ни ориентира за обстановката и промените около нас и така ни позволява да усетим пълноценно живота и да се насладим на околния свят. Ето защо с право той е определен като бо- жествено сетиво, което ни дава възможност да усетим музиката на живота, невероятното изкуство на вселената. Слухът е и социално сетиво, той е необходим за общуването и е изключително важен за пространствената ориентация и обучението. Неслучайно ухото е първата появила се сензорна структура в развиващия се човешки зародиш, то е напълно оформено и готово да работи още при раждането. Нещо повече, ухото функционира дори и по време на

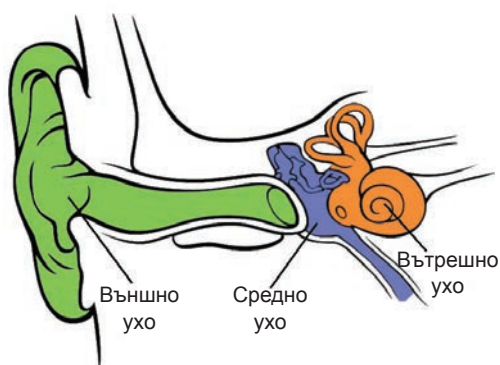
Добре известен е фактът, че ухото е орган на слуха. Но чрез него също се поддържа баланса на тялото и координацията на движенията на главата и очите. Този забележителен орган възприема слуховите дразнения и сигналите за ориентация на тялото ни в триизмерното пространство и ги предава на мозъка, където те се осъзнават като звукови и равновесни усещания. За тази цел човешкото ухо е изключително сложно проектиран и комплексно устроен гистантен орган.

сън, макар че тогава мозъкът игнорира звуците от околната среда.

Ухото е изградено от три отделни части, наречени външно, средно и вътрешно ухо, всяка от които има различна структура и специфична функция.

Външното ухо е първото звено на звукопроводящия апарат. То служи да улови и насочи звуковите вълни към тъпанчевата мембрана. Състои се от ушна мида и външен слухов проход, наречен ушен канал.

Ушната мида (раковина) има форма на приплесната фуния със сложен релеф, изградена е от еластичен хрущял и е покрита с тънка кожа. Движи се от няколко малки, рудиментарни мускула. Способността на някои индивиди да движат ушите си се смята за проява на



Части на човешкото ухо.
(Източник: <https://teachmeanatomy.info>)

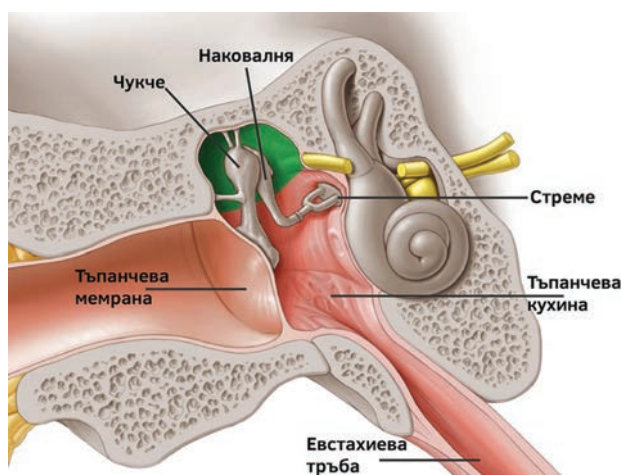
атавизъм. Дължината на ушната мида е близка до общата дължина на носа. Изследванията на британския общопрактикуващ лекар Джеймс Хийткоут (James Heathcote), публикувани в престижното списание *British Medical Journal*, са установили, че след 30-годишна възраст ушната мида у мъжете нараства с около два милиметра на десетилетие. За това си откритие той е удостоен през 2017 година с Шнобелова (пародия на Нобеловата) награда за анатомия, присъждана ежегодно за най-абсурдните научни „постижения“. Още от гревността изгледът, пропорциите и формата на ушната мида са били мерило за степента на развитие на интелекта и са се свързвали с наличие на определени наклонности и гарби, по нея се е съдело за характера на индивида. Ушната мида е и изключително деликатно място, нейната форма се оприличава на ембрион в майчината утроба и върху нея са разположени множество точки, в които се проектират основните органи в човешкото тяло. По тази причина тя е таргетна структура за някои манипулации, използвани в традиционната китайска медицина – акупунктура и акупресура. Ушната висулка е богато кръвоснабдена и служи за източник на капилярна кръв у деца. Тя обаче е бедна на нервни оконча-

ния и е слабо болкочувствителна, за радост на любителите на пиърсинга.

Външният слухов проход е с дължина около 2.5 см и диаметър 6 – 8 мм. Той започва с овален външен слухов отвор и достига до тъпанчевата мембрана. Каналът е разделен на външна, около 6 – 8 мм дълга, хрущялна част, която обхваща една трета от общата дължина на канала, и вътрешна костна част, която е дълга 15 – 17 мм и представлява двете трети от целия канал. Ушният канал има S-образно извит ход с отворен напред и надолу ъгъл от 140° между двете части, на прехода на които се намира най-тясната му част, наречена провлак. В дъното му се намира тъпанчевата мембрана, която е достъпна за директно наблюдение при отоскопия след изтегляне на ушната мида назад и нагоре. Ушният канал е покрит с тънка и нежна кожа с множество прави фини косми, (*tragi*). В стената на ушния канал се намират два вида жлези – мастни жлези, гредиращи се в космените фоликули и вогизменени потни жлези, т.нар. церуменални жлези, разположени във външната трета на канала. Последните произвеждат гъст жълтеникав секрет, който се смесва със секрета на мастните жлези



Схема на външното ухо с ушна мида и ушен канал. (Източник: <https://www.osha.gov>)



Средно ухо с тъпанчева мембрана, тъпанчева кухня, слухови костици и Евстахиева тръба.
(Източник: <https://www.kenhub.com>)

и олющени епителни клетки, и така се образува т.нар. ушна кал (лат. *cerumen*). Ушната кал подпомага почистването и овлажняването на канала и осигурява неговата естествена защита от бактерии, гъбички и насекоми. С помощта на миниатюрните косъмчета в канала тя се изтласква навън, заедно с полените по нея гребни частици и прах, по такъв начин ухото се самопочиства от чужди тела. Това означава, че ухото няма нужда от допълнително почистване с памучни клечки, с нокът или други остри предмети. Повишената продукция на ушна кал обаче може да предизвика образуване на плътна запушалка в канала, което води до намаляване на слуха. В този случай се налага нейното отстраняване от лекари, специалисти - оториноларинголози.

Средното ухо е второто звено от звукопроводящия апарат. То усилва звуковите вълни и пренася трептенията на тъпанчевата мембрана към вътрешното ухо. Средното ухо се състои от тъпанчева кухня, в която се намират три слухови костици и в която се отваря слуховата (Евстахиева) тръба. Обемът на средното ухо е около 1.5 cm^3 , а размерът

и е не по-голям от обиколката на гумичка на молив.

Тъпанчевата кухня е малка кухня с форма на кибритена кутийка или приплеснат барабан. Тя има шест стени, като външната и вътрешната стена се намират на малко разстояние помежду си. Външната стена на тъпанчевата кухня е тъпанчевата мембрана и костта, за която тя е прикрепена. Тъпанчевата мембрана е еластична мембрана, изградена от пръстеновидно и радиално ориентирани влакна, покрита с нежна

кожа откъм канала и постлана с изтънена лигавица от страната на кухнята. Тя прилича на плитък конус, има елипсоидна форма с дълъг диаметър 10 – 11 мм, къс диаметър 8 – 9 мм и дебелина 0.1 мм. Нейната роля, освен на физична бариера между външното и средното ухо, е да преобразува звуковата вълна във вибрации, които се предават по верига от слухови костици до вътрешното ухо. Нещо повече, костната верига усилва около 20 пъти звуковата енергия чрез лостов механизъм. По такъв начин механичната енергия на звуковете трептения се трансформира в хидравлична енергия, която задвижва звукопроводящите течности във вътрешното ухо. Тъпанчевата кухня е изпълнена с въздух и съдържа три ставно свързани малки костици. Техните имена – чукче, наковалня и стреме – точно отразяват тяхната форма и очевидно са им били дадени от старите анатоми във времето, когато ковачеството е било основен занаят. Слуховите костици са най-малките кости в човешкото тяло, а най-малка сред тях е стременината кост или стремето, с тегло едва 2 – 5 мг и

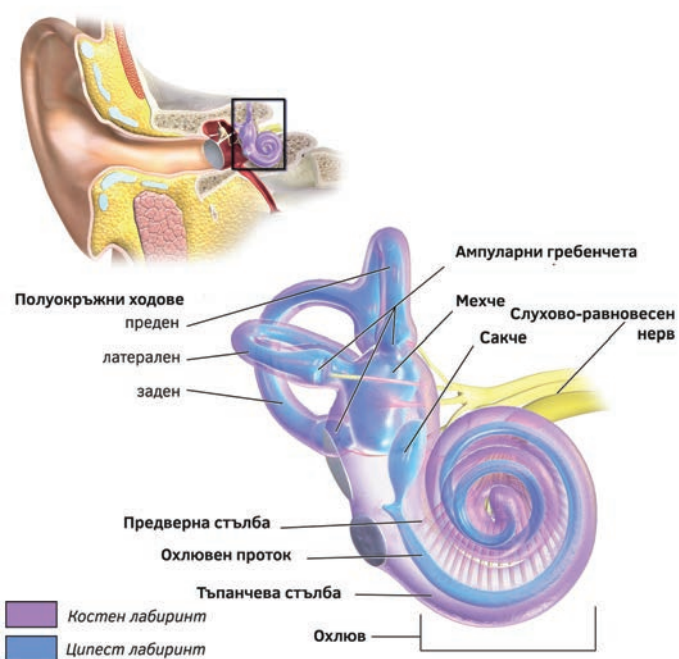
приблизителна дължина 0.28 см. Чукчето се захваща със своята дръжка за тъпанчевата мембрана, а плочката на стремето затваря овалното прозорче по вътрешната стена на тъпанчевата кухина. Тук се разполага и допълнително кръгло прозорче, което е затулено от т.нар. вторична тъпанчева мембрана.

В тъпанчевата кухина се отваря и Евстахиевата тръба. Тя представлява тапицирана с лигавица около 2 мм тясна тръба, която я свързва с гълтача. По-широката тръба у деца, наред с недоразвитата им имунна система, обяснява и известния факт на по-честа поява при тях на ушни инфекции (отити) с произход от гърлото. Слуховата тръба е дълга около 3.5 см, вътрешните две трети (24 мм) от които принадлежат на хрущялната ѝ част, а външната една трета (12 мм) е костна и е разположена в едноименния полуканал на слепоочната кост. Тя помага в изравняване на въздушното налягане в средното ухо с атмосферното, което е необходимо условие за свободно трептене на тъпанчето. Познатият ни при прозявка като изпукване на ушите звук е резултат от разширяването на тръбата. От друга страна, стеснената при възпаление и/или обструкция слухова тръба предизвиква заглъхване на ушите, най-често срещано при пребиваване на голяма надморска височина или пътуване със самолет. Смученето на бонбони по време на излитане и кацане на са-

молета е механизъм за нейното разширяване с цел балансиране на налягането от двете страни на тъпанчевата мембрана и избягване на нейното руптуриране.

Вътрешното ухо се разполага в скалистата част (пирамида) на слепоочната кост. Състои се от две вложени една в друга части, които поради сложния си ход се наричат костен и ципест (мембранозен) лабиринт. Те са изпълнени с лимфоподобни звукопроводящи течности, наречени съответно перилимфа и ендолимфа, които се различават по йонния си състав.

Костният лабиринт е сложна структура, поместена в кухина с дебела стена, изградена от най-твърдата кост в човешкото тяло. Той е разделен на три части – преддверие, три свързани с него канали и костен охлюв. Преддверието,



Схематично представяне на вътрешно ухо с костен и ципест лабиринт. (Източник: Wikipedia)

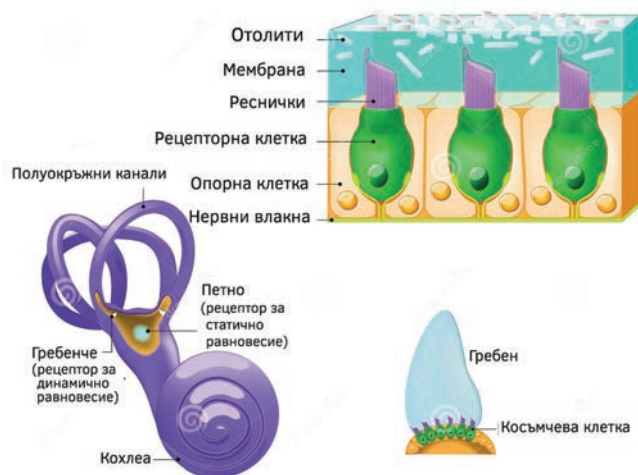
заедно с отварящите се тук полуокръжни канали, принадлежат към равновесната част, а костният охлюв – към слуховата част на ухото. В преддверието се намират перфорирани плитки ямки, в които се помещават части на ципестия лабиринт. Полуокръжните канали са три на брой, преден, заден и страничен (латерален), и са разположени в три взаимно перпендикулярни равнини. Латералният канал е разположен в хоризонталната плоскост, предният лежи във фронталната равнина, а задният е ориентиран в предно-задна посока. Те са гъбовидно извити и представляват две трети от окръжност с диаметър около 1 мм. Всеки от тях започва от преддверието с разширена част, наречена ампула, и завършва в него с индивидуално краче за страничния и едно общо за предния и задния канал. Костният охлюв е спирално извит канал с дължина около 3 см, наподобяващ по форма на черупката на охлюв (лат. *cochlea*). При човек той е висок 4 – 5 мм и образува около две и половина намот-

ки около костния вал. Представлява конусовидно образувание с широка основа и връх, изградено от сърцевина, вретено, което е пронизано от множество надлъжни каналчета, и спирално навита около него пластинка. Тя разделя костния канал на охлюва на три спирално извити кухини – горна, преддверна стълба, *scala vestibuli* (лат. *scala*, вита стълба), долна, тъпанчена стълба, *scala tympani* и средна стълба, *scala media*, наречена още охлювен проток.

Ципестият (мембранозен) лабиринт представлява затворена система от сакове и протоци, които повтарят в умален вид кухините и каналите на костния лабиринт. Той е изграден от две части – преддверен и охлювен ципест лабиринт.

Преддверният ципест лабиринт се състои от две торбички и три полуокръжни канала, изпълнени с ендолимфа. Торбичките са поместени в съответните хлътвания на костното преддверие и са свързани помежду си с тънък канал. Едната от тях е угължена и се означава

като мехче (лат. *utricleus*), а другата има сферична форма и е наречена сакче (лат. *sacculus*). Полуокръжните ходове са три на брой, преден, заден и латерален. По разположение те отговарят на съответните полуокръжни канали, но изпълват едва една четвърт от обема им. Подобно на тях те започват от преддверието с ампула и завършват в него с краче. В определени места на преддверието, представени в торбичките като белезникави петна (лат. *maculae*) и издувания, гребенчета в ампулата (лат.



Схематично представяне на частите на преддверния ципест лабиринт и ролята им в поддържане на равновесието на тялото. (Модифицирана от: www.dreamstime.com)

cristae ampullares) на всеки полуокръжен ход се разполагат статорецепторни зони. В тях се съдържат невроепителни сетивни клетки, които се гразнят от движенията на ендолимфата във връзка с промените в положението на главата. Освен места за възприемане на положението на главата, петната възприемат и колебанията във вибрациите, реагират на гравитационни сили и участват в поддържането на статичното равновесие, докато ампуларните гребенчета осигуряват информация за ротационни и ъглови ускорения, така поддържат динамичното равновесие на тялото.

Охлювният ципест лабиринт, наричан и кохлеарен (охлювен) проток или кохлеа, е спирално извит канал, дълъг 35 мм, заемащ цялата *scala media*. Ципестият охлюв е изпълнен с ендолимфа и е заобиколен от перилимфа, циркулираща в *scala vestibuli* и *scala tympani*. Прерязан напречно, той представлява триъгълен, сляпо завършващ мембранозен канал с три стени. Горната стена го отделя от *scala vestibuli* и се нарича преггверна (вестибуларна) стена. Известна е още като Рауснерова мембрана, наречена на името на откривателя ѝ, немският анатом Ернст Рауснер (Ernst Reissner, 1824 – 1878). Счита се, че тази мембрана осъществява водно-електролитния транспорт между

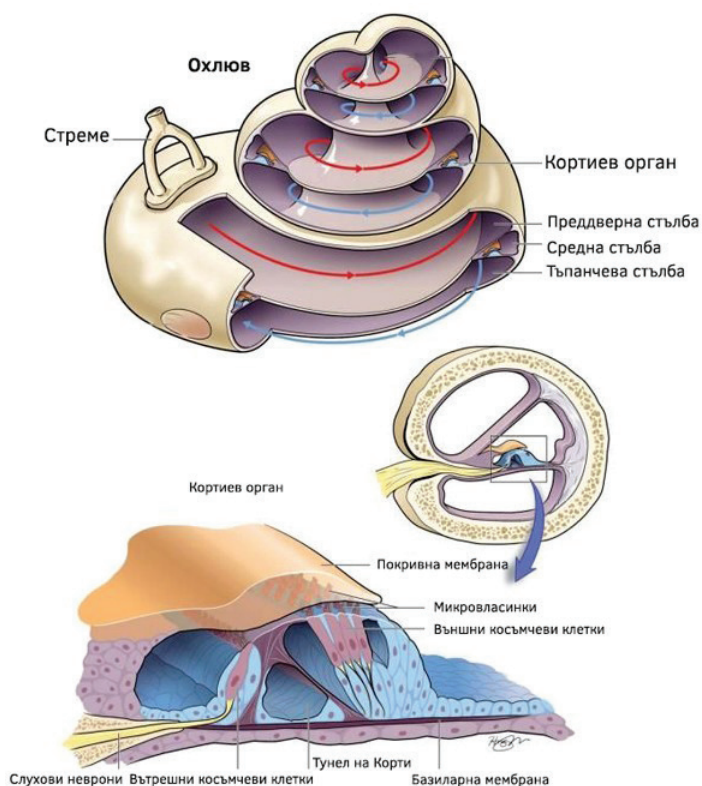
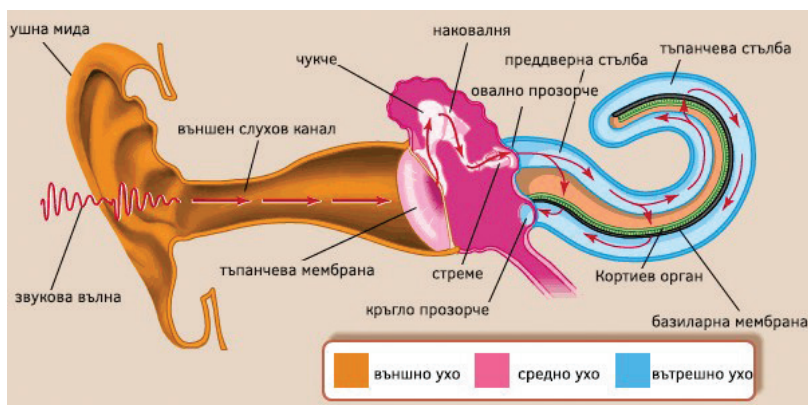


Схема на костен и ципест лабиринт с Кортиев орган.
(Източник: www.gnsi.org)

перилимфата в преггверната стълба и ендолимфата в ципестия охлюв. Външната стена на охлювния проток е тапицирана с васкуляризиран епител, който произвежда ендолимфата. Долната стена, наречена тъпанчева, е граница между *scala tympani* и ципестия охлюв. Средната ѝ част се означава като базиларна мембрана, тъй като върху нея се разполага слуховият рецепторен орган. Той е известен като орган на Корти по името на италианския анатом Алфонсо Корти (Alfonso Corti, 1822 – 1876), който е описал за пръв път редица негови структури. Кортиевият орган представлява сложно устроено спирално образувание, което е изградено от невроепителни сетивни и няколко вида опорни клетки, разположени в два реда от двете



Механизъм на слуховото възприятие.

(Източник: *Encyclopedia Britannica, Inc.* на www.en.wikipedia.org)

страни на триъгълен канал, наречен вътрешен тунел на Корти. Той се огражда от две стълбести клетки, вътрешни от които се разполагат подпорни клетки, фалангови клетки, наричани и „клетки на Дайтерс“ (на немския анатом Ото Дайтерс, Otto Deiters, 1834 – 1863), които със своето тяло и дълъг израстък придържат като в столче слуховосетивните клетки. Разположените навътре от тунела клетки, наречени вътрешни рецепторни клетки, са крушовидни по форма, разположени са в един ред и наброяват общо 3500 клетки. Външните рецепторни клетки са цилиндрични, подредени са в 3 – 5 реда и варират по брой от 12 000 до 20 000 клетки. Рецепторните клетки на органа притежават във върховия си полюс множество миниатюрни власинки, подобно на косъмчета и се означават като косъмчеви клетки. Те са в директен контакт с тънка пухтиеста и влакнеста мембрана, наречена покривна мембрана (на Корти), в която са включени калциеви кристали, отолити.

Редица автори са правили опити да разяснят механизма на възприятие на звуковите сигнали. Един от първите опити за научно обяснение на този механизъм представлява т.нар. пространствена (резонансна) хипотеза,

предложена през 1863 година от немския физик, физиолог и философ Херман фон Хелмхолц (Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, 1821 – 1894). Според нея, в отговор на звуков сигнал с определена честота, резонират само кореспондиращите сегменти на базиларната мембрана, т.е. различните по височина звуци привеждат в трептене само тази част от нея, която отговаря на дадената звукова честота. Накратко, ухото е своеобразен честотен анализатор. Тази теза е доразвита в т.нар. телефонна (фреквентна) теория на британския физиолог Уилям Ръдърфорд (William Rutherford, 1839-1899), съгласно която ухото превръща звуковите вибрации в нервни импулси на принципа на телефона, т.е. чрез излъчване на един импулс за всеки цикъл на звуковата вълна. Още по-убедителна подкрепа на този феномен дава вълновата теория на унгарския биофизик Георг фон Бекеш (Georg von Békésy, 1899 – 1972), която обяснява механизма на слуховата рецепция така: звуковите вълни се улавят от ушната мида, преминават през ушния канал и задвижват тъпанчето. Трептенията на тъпанчевата мембрана чрез веригата от слухови костици се предават първоначално на перилимфата в предверната

и тъпанчевата стълби, впоследствие привеждат в движение ендолимфата в охлювния проток, и накрая чрез нея предизвикват синхронно вибриране на определени части на базиларната мембрана, които са резонатори на отговарящите по честота вибрации. Тези вибрации предизвикват трептене на слуховосетивните клетки в съответния отдел от Кортиевия орган, чийто власинки се раздвижват, огъват и предизвикват колебания на покривната мембрана. Така механичната енергия от деформацията се трансформира в електричен импулс. Генерираният в сетивните клетки слухов потенциал се предава по слуховия нерв, който изпраща нервните сигнали към слуховата кора в слепочния дял на мозъка, където те се възприемат като звуци. За своите открития на физичните механизми на стимулация на кохлеата през 1961 година фон Бекешу получава Нобеловата награда за физиология или медицина.

Човешкото ухо е чувствително към звукови вълни, интензитетът на които се мени в много широки граници. Нормално то възприема звуци с честота в широк обхват от 20 до 20 000 херца (Hz), средно между 125 до 8000 Hz със сила от 0 до 20 децибела (dB). С напредване на възрастта, диапазонът на чуване се снижава, тъй като способността за възприемане на високите тонове намалява чувствително. Когато силата на звука премине границата от 100 dB, той се усеща като дискомфорт, а звуците надхвърлящи 125 dB предизвикват болка. Системното излагане на силен шум над 85 dB може да предизвика необратима загуба на слуха при всички възрасти, без значение от пола. Редовното слушане на силна музика, особено със слушалки за уши, е пагубно за слуховите клетки, на които причинява т.нар. звукова травма.



Николай Лазаров е доктор на медицинските науки, професор по анатомия и клетъчна невробиология, ръководител на катедрата по анатомия в Медицински университет – София и на направление в Института по невробиология – БАН. Научните му интереси са в областта на невроанатомията и неврохимията на мозъка, и периферната хеморецепция. Член на редколегията на списание „Природа“

Тя води до слухова загуба, която може да възникне внезапно (напр. при близък до ухото изстрел или експлозия) или да се развие постепенно.

Съществуват четири вида загуба на слуха: проводна, невросензорна, смесена и централна. Проводна слухова загуба настъпва когато по някаква причина звукът не може да достигне вътрешното ухо. Тя се дължи на наличен проблем в ушния канал (напр. запушване от чуждо тяло или ушна кал), перфорирано тъпанче, вродени малформации или тумори на външното и средното ухо, отит на средното ухо, травми, вкл. баротравми и др. Обикновено при нея загубата на слуха е лека до средна с диапазон до 40 dB. Сензорната загуба на слуха се появява при увреда на косъмчевите клетки в резултат на рани на главата, травматично излагане на силен шум, генетична предиспозиция, хронични невъзпалителни заболявания на костния лабиринт като отосклероза, вирусни инфекции на



*Кохлеарен имплант
(Източник: Wikipedia)*

ухото и прием на ототоксични медикаменти. Подобна слухова загуба у човек се развива и като възрастова проява след 50-годишна възраст. Смесената загуба на слуха е комбинирана проява на звукопроводна и звукоприемна загуба на слуха и засяга външното, средното и вътрешното ухо. Невралната загуба възниква когато слуховият нерв липсва или е увреден и не може да проведе нервните сигнали до мозъка. Тази слухова загуба включва и слуховите центрове в мозъка и се нарича още централна. Тя обикновено е трайна и изисква поставяне на слухов имплант.

Загубата на слуха е деликатен социално-психологически проблем. Тя създава ежедневни трудности на много хора в трудоспособна възраст и изисква своевременно и адекватно лечение. Лечението на глухотата се базира на факта, че човешкото ухо възприема звука, както по въздушен, така и по костен път чрез костите на черепа. Традиционните слухови апарати, които работят на принципа на въздушната звукопроводимост се поставят в ушния канал или зад ухото. Те обаче не са подходящи за всички случаи на слухова загуба, а при някои съз-

дават неудобства. Като алтернатива в тези случаи се прилагат средства, които използват звукопроводимостта на костта. За първи път през 1923 година Хуго Гернсбек (Hugo Gernsback) патентова слухов апарат (озофон), който работи чрез предаване на звука по костите. При първите електрически устройства, костният предавател се е прикрепял чрез гуадема за главата или чрез стоманена конзола към рамките на очилата. Модерните слухови апарати са аналогови или цифрови високотехнологични устройства, програмируеми според типа и степента на слухова загуба на пациента. Друг ефикасен подход е кохлеарната имплантация, едно от най-големите постижения на съвременната отология. Интервенцията е подходяща за възрастни пациенти с тежка невросензорна загуба на слуха, но и за малки деца с вродена глухота. Тя представлява рутинен хирургичен метод за поставяне на имплантната система във вътрешното ухо, която да замести увредените слухови клетки при запазен слухов нерв. Кохлеарните импланти са електронни устройства, състоящи се от външен звуков процесор (предавател) в черепната кост над ухото, който улавя и преобразува звуковите вълни в нервен импулс, предаван на вътрешен приемател (стимулатор), монтиран в кохлеата. По този начин чрез електрическа стимулация на нервните влакна в кохлеата става възможно нормалното възприемане на звука.

В последните години е все по-реална възможността органи, отпечатани с 3D биопринтер да заменят изкуствени протези. Първата стъпка в тази насока е изработване на умалено копие на човешко ухо на основата на човешки стволни клетки. През 2012 година учени от лабораторията за тъканно инженерство и производство на органи в мно-

гопрофилната болница в Бостън, Масачузетс (САЩ) изготвят в лабораторни условия от титаниева сплав гъвкава матрица на човешкото ухо, имплантирана под кожата на плъхове с потисната имунна система. Тези ушни миди са запазили формата си два месеца след трансплантацията. През следващата година чрез съвременни дигитални технологии успешно е създаден и отпечатан триизмерен компютърен модел на ушната мида от живи клетки и биоразградими полимери. Реализацията на проекта продължава и през 2018 година в Китай при пет деца с едностранно деформирано ухо, с помощта на 3D софтуер зравото ухо е сканирано, обърнато огледално и отпечатано с принтер, след което върху това скеле е култивиран хрущял от недоразвитото ухо. Разбира се, тази процедура изисква продължително клинично изпитание за безопасност на използваните биоматериали преди методът да се приложи за масова употреба в реконструктивната медицина.

Човешкото ухо е сред най-интересните и уникални творения на природата. Този орган е напълно оформен още от раждането и почти не се променя с възрастта. Ето защо в последно време с научно основание учените предлагат ухото да бъде използвано като биометричен параметър за идентификация на пътници по летищата. За тази цел



Копие на човешка ушна мида, имплантирана под кожата на плъх-донор.
(Илюстрация: <https://www.foodpairing.com>)



Фигура 10. Дете с вродена недоразвита ушна мида (микротия) 30 месеца след оперативната реконструкция с култивиран хрущял от недоразвитото ухо.

(Илюстрация: G. Zhou et al.: *In Vitro Regeneration of Patient-specific Ear-shaped Cartilage and Its First Clinical Application for Auricular Reconstruction*. *EBioMedicine* 28, 2018, 287-302.

специалисти по биометрика от университета в Саутхамптън, начело с проф. Марк Никсън (Mark Nixon), са разработили нов метод за разпознаване на хора със скенер за уши, който взема предвид уникалната форма на човешкото ухо. Друго забележително съвременно постижение, заимствано от гизайна на вътрешното ухо на човека е създаденият от инженери от Масачузетския технологичен институт бърз радио чип. Този изкуствен кохлеарен чип, наречен радиочестотна кохлеа (англ. RF cochlea), е способен да „чува“ в многократно по-широк диапазон, приемайки и обработвайки по сходен на ухото начин сигнали от целия радиочестотен спектър. Изпратените по слуховосензорната система сигнали достигат мозъка, където те се интерпретират индивидуално.

Човешкият мозък в течение на целия ни живот непрекъснато изгражда връзки и асоциира звуковите сигнали с образи, аромати, вкусове или с други неосезаеми чувства, емоции и представи. Така се изгражда основата и се развива нашето общо познание за необятния външен свят. ■