

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Otorinolaryngologická klinika,
Fakultní nemocnice Královské Vinohrady, Praha

Zuzana Mesarčíková

**Lidské a zvířecí ucho,
porovnávací anatomie a fyziologie,
literární přehled**

*Human and animal ear,
comparative anatomy and physiology,
literature overview*

Diplomová práce

Praha, září 2007

Autor práce: Zuzana Mesarčíková

Studijní program: Všeobecné lékařství s preventivním zaměřením

Vedoucí práce: MUDr. Jaromír Zahradil

Pracoviště vedoucího práce: **Otorinolaringologická klinika, FNKV, Praha**

Datum a rok obhajoby:

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci zpracovala samostatně a použila jen uvedené prameny a literaturu. Současně dávám svolení k tomu, aby tato diplomová práce byla používána ke studijním účelům.

V Praze dne 27. srpna 2007

Zuzana Mesarčíková

Podakovanie

Chcem poďakovať MUDr. Zahradilovi za to, že mi sám spontánne navrhol, že môžem túto prácu písať v ľubovoľnom jazyku. Tým mi samozrejme umožnil písať ju po slovensky. A ako stránky pribúdali, zistila som, že dlhodobý pobyt v Čechách zanechal stopy na mojej slovenčine, takže, aby bolo všetko podľa predpisov, používala som slovník nachádzajúci sa na internetových stránkach Ministerstva kultúry Slovenskej republiky [6].

Obsah

I. Úvod	1
II. Fylogenetický vývoj	2
II.A Jednoduché mnohobunkové živočíchy	2
II.B Živočíchy s coelomom	2
II.C Článkonožce	3
II.D Chordáty	4
III. Konečná anatomická stavba ľudského ucha	10
III.A Vonkajšie ucho	10
III.B Stredné ucho	14
III.C Vnútorné ucho	19
IV. Fyziológia ľudského ucha	24
IV.A Fyziológia vonkajšieho ucha	24
IV.B Prenos zvuku v strednom uchu	25
IV.C Funkcie vnútorného ucha	26
IV.D Mechanizmus dráždenia statolitového systému	28
IV.E Mechanizmus dráždenia crista ampullaris	29
V. Literárny prehľad	31
V. Záver	32
VI. Súhrn	34
VII. Summary	35
VIII. Použité zdroje, literatúra	36
IX. Zoznam príloh	37
X. Prílohy	
X.A Stručný slovník použitých výrazov česko-slovenský	38
X.B Stručný slovník použitých výrazov slovensko-český	39
X.C Fylogenetický strom	41

I. Úvod

Pod pojmom ucho si ľudia predstavujú rôzne veci. Pre niektorých to môže byť len tá najvysunutejšia časť sluchového aparátu- ušnica, pre iných je to prevodná časť sluchového aparátu- stredné ucho, a pre ďalšiu skupinu ľudí je ucho vlastná receptorová zložka tohto zmyslu- vnútorné ucho. Nehovoriac o ostatných významoch slova ucho: ucho na nádobách a taškách; babské ucho (ona šalvia praslenitá- salvia verticillata, ktorú tak urputne zháňala čarodejnica Saxana); ucho Judášovo- ďalší zástupca z botaniky; ucho v zmysle mladý, neskúsený človek.

Dôležitosť tohto pojmu je vyjadrená i v mnohých prísloviach, napr. "múdre ucho nedbá na reči hlúpych ľudí", "je blby jak ucho od demižona".

Z anatomickeo- fyziologického pohľadu je ucho orgán slúžiaci k vnímaniu zvuku, čo je jeden z piatich zmyslov- čuch, chuť, sluch, zrak a hmat. Za tzv. šiesty zmysel je pokladaný rovnovážny orgán nachádzajúci sa vo vnútornom uchu. Impulzy z týchto zmyslov sú spracovávané vyššími nervovými zložkami a spoločne nás informujú o svete okolo nás a v nás.

Vzhľadom na to, že sluchový aparát sa celý čas vyvíjal spolu s vestibulárnym orgánom, rozhodla som sa venovať i tomuto a nerozdeľovať ich. Poďme sa teda spolu vydať za poznaním a rozšírme si obzory o uchu- orgánu zmyslovému, slúžiacemu k vnímaniu zvuku a polohy. Verím, že ak v tejto práci nenájdete nič nové, tak si aspoň osviežite to, čo už dávno viete.

II. Fylogenetický vývoj

II.A Jednoduché mnohobunkové živočíchy

V evolučnom maratóne je dôležitý moment vzniku hlavy v procese cefalizácie, čo sa považuje za dôsledok adaptácie na plazivý pohyb po podklade smerom dopredu. Pri tomto pohybe predná časť tela ako prvá prichádzala do kontaktu s meniacimi sa podmienkami prostredia, a získavala tak osobitné postavenie v organizme. Hlava sa postupne diferencuje na dominantnú časť tela: stáva sa z nej nervovo-senzorické, a navyše i trofické centrum organizmu- miesto prijímania potravy. [4, str.23]

Evolučne starší je orgán rovnovážny; už u vyšších mechúrnikov- rebroviiek a medúz (ríša jednoduché mnohobunkové živočíchy)- pozorujeme *statocysty* a u medúz aj oči. Statocysta je vačkovitá štruktúra obsahujúca mineralizovanú hmotu- statolit, a početné senzorické chlípky (*setae*). U medúz sú ďalšie receptory na nenápadných prívieskoch na bokoch zvona- tzv. *rhopáliách* [4, str.19]. Solitárna statocysta sa vyskytuje i v ďalších skupinách v tejto ríši živočíchov, napr. u ploskavcov, ale u parazitujúcich ploskavcov (*pásomnice*) je výrazne redukovaná a napr. u nepohyblivých koralov chýba úplne. Nervová sústava je difúzneho typu.

II.B Živočíchy s coelomom

Mäkkýše

Majú veľmi špecializovanú rebríčkovú nervovú sústavu, nazývame ju gangliová. Okrem hlavného cerebrálneho ganglia vzniká v tele 2-5 párov periférnych ganglií, ktoré inervujú nohu, žiabre a ďalšie orgány. V nohe majú *statocystu*; u vodných skupín pozorujeme lupeňovité senzorické príviesky- *osphradiá* (čuchový orgán stavbou sa podobajúci žiabram, spojený s dýchacím systémom). Lastúrniky môžu mať na okraji plášťa aj senzorické tykadielka- *rhopáliá*. [4, str.36]

Obrúčkavce

Majú rebričkovú nervovú sústavu; zakladá sa embryonálne na povrchu, druhotne klesá do svaloviny, kde je lepšie chránená. Zo zdvojeného cerebrálneho ganglia vybiehajú smerom do tela nervové povrazce, ktoré tvoria okolohltnovú obrúčku, a potom v každom somite pár ganglií spojených komisúrou. Receptory sú dobre vyvinuté hlavne u pohyblivých dravých druhov- majú tykadlá, palpy, obrvené čuchové senzily a oči. [4, str.48]

II.C Článkonožce

Nervová sústava je u primitívnejších skupín (Myriapoda, nižšie Crustacea) ešte v podstate rebričková, väčšinou (u odvodených typov) je už gangliová. Centrom nervovej sústavy je cerebrálne ganglium, alebo mozog. Vzniká zrastom troch párových ganglií neurocephalonu. Článkonožce majú veľmi vyvinuté zmysly. Receptory sa obyčajne rozdeľujú do troch kategórií:

1. mechanoreceptory- umiestnené na celom povrchu tela, hlavne na exponovaných častiach: na hlave, končatinách a tykadlách; označujú sa ako hmatové senzily- poznáme tri typy- setae (pomerné hrubé a tupo zakončené štetiny), chaetae (pri báze hrubšie a ku koncu sa zužujúce chlповité senzily), a jemné a po celej dĺžke tenké botriotrichie, nazývané i etymologicky obráteným termínom trichobotrie- majú ich hlavne pavúky a bolo dokázané, že tieto veľmi jemné senzily registrujú aj vibrácie vzduchu- pavúky teda istým spôsobom "počujú".

Diferencovaný sluchový zmysel je u článkonožcov zriedkavý, ale vyskytuje sa.

Sú to tzv. *tympanálne orgány*, ktoré sú vyvinuté u aktívne stridulujúceho hmyzu (Saltatoria, Auchenorrhyncha). Skladajú sa z membrány (tympanum) natiahnutej v rámiku a podporovanej vzdušným vakom. Zvuk vibruje membránou a vibrácie sú vnímané chordotonálnym orgánom.

Chordotonálny orgán je zvláštny mechanoreceptor vnútri tela; registruje

napätie v jednotlivých častiach tela, odpor prostredia, a tým aj rýchlosť prúdenia vzduchu, vody a pod. Najznámejší je tzv. pedicelový (Johnstonov) orgán, ktorý sa nachádza v druhom článku tykadla ako dôležitý znak triedy Ectognatha. U niektorých skupín (Diptera) môže registrovať aj vibrácie vzduchu, teda zvuk.

Ďalším mechanoreceptorom sú *statocysty*. U článkonožcov sú vždy v hlave, druhotne môžu splynúť v jeden orgán. U decapoda sa nachádzajú v bazálnych článkoch prvého páru tykadiel. [4, str 61-62]

2. chemoreceptory- predstavujú čuchový a chuťový zmysel;
3. fotoreceptory- oči niekoľkých typov.

II.D Chordáty

U lariev plášťovcov (Tunicata, Urochordata- podkmeň kmeňa chordátov, vývojovo najstaršie chordáty) existuje malý zmyslový vačok, ktorý funguje ako *statocysta* (obsahuje otolit) [1, str. 43], nachádza sa v blízkosti mozgového ganglia a v priebehu metamorfózy mozgové ganglion i *statocysta* výrazne degenerujú. Larvy sú schopné aktívne sa hýbať, ale dospelé formy žijú prisadnutým spôsobom života, sú nepohyblivé a teda majú menšie nároky na motorickú kontrolu.

V ďalšom vývoji vznikol pár orgánov v podobe blanitého labyrintu, umiestneného v sluchovom púzdre lebky. Nie je tvorený jednoduchou *statocystu*, ale zložitou sústavou kanálikov a vačkov, vytvárajúcich spolu uzatvorenú dutinu vyplnenú tekutinou- endolymfou.

U čeľustnatcov je blanitý labyrint tvorený dvoma vačkami nazývanými **utrículus a sacculus**, z ktorých vybieha tenká trubica zvaná **ductus endolymphaticus** až do lebečnej schránky, kde sa rozširuje po oboch stranách neurálnej trubice (pod dura mater) v rôzne objemný **saccus endolymphaticus**.

V každom vačku je rozsiahly okrsk obrveného zmyslového epitelu, ktorý vzniká z epidermálnych plakód, rovnako ako neuromasty postrannej zmyslovej čiary, a je teda ektodermálneho pôvodu. Z bázy tohoto epitelu vybiehajú špeciálne senzitívne vlákna VIII. hlavového nervu (n. vestibulocochlearis). Tieto okrsky zmyslového epitelu sa nazývajú macula utriculi (na báze vačku) a macula sacculi (na zvislej mediálnej stene vačku). Z bázy sacculu vybieha tretí vačok nazývaný lagena, na ktorého vnútornej stene je macula lagenae. V prvých dvoch vačkoch a často tiež v lagene sú vytvorené statolity v podobe hmôt z uhličitanu vápenatého. Nazývajú sa otolity (resp. statoconia) a fungujú rovnako ako statolity u bezstavovcov. U lúčoplutvých rýb (Actinopterygii, Paprskoploutví) vyplňa otolit prakticky celú dutinu sacculu a jeho tvar je charakteristický nie len pre rody, ale i pre druhy, takže sa často používa v systematike rýb. Utriculus, sacculus a v menšej miere i lagena informujú živočícha o jeho polohe podobne ako statocysty bezstavovcov.

K registrácii pohybu a jeho zmien (čo sa týka jeho smeru a zrýchlenia) slúžia však polkruhové kanáliky (**ductus semicirculares**). U čeľustnatcov (čelistnatce, Gnathostomata) sú tri, sú vyplnené endolymfou a obsahujú obrvený zmyslový epitel na vrchole crista ampularis. V kanálikoch nie sú vyvinuté otolity, pretože dráždenie zmyslového epitelu spôsobuje už sám pohyb endolymfy. U mihúľ (mihule, Cephalaspidomorphi, Petromyzontida- bezčeľustnatce) a ich vymretých príbuzných Osteostraci sú vyvinuté len dva polkruhové kanáliky, vybiehajúce dorzálne zo zvláštneho systému vnútri obrvených vačkov, a u sliznatiek (sliznatky, Myxini- tiež bezčeľustnatce) je tento kanálik dokonca len jeden. Zrejme je to primitívny stav, pretože u parýb (Chondrichthyes) sú utriculus a sacculus vytvorené len v náznakoch, ako výchlipky doposiaľ spoločnej dutiny.

Funkcia endolymfatického vaku nebola ešte úplne objasnená. U žralokov (paryby, Chondrichthyes) sa otvára na dorzálnej strane hlavy, a má tak spojenie s vonkajším prostredím. U mnohých foriem Osteichthyes a zvlášť u obojživelníkov dokonca obsahuje vápnitú substanciu a obidva vaky zasahujú pozdĺž miechy v chrbticovom kanáli až do sakrálnej oblasti.

Od princípu obrveného zmyslového epitelu registrujúceho podnety z vonkajšieho prostredia je odvodený i **systém postrannej zmyslovej čiary** vodných stavovcov (vrátane lariev obojživelníkov). Ako receptory slúžia i tu zhluky obrvených buniek, podobných tým, ktoré sú na crista ampullaris. Nazývajú sa *neuromasty*. Môžu byť roztrúsené izolovane po povrchu tela, ale predovšetkým sú sústredené

do kanálikov či žliabkov na povrchu hlavy a trupu (u recentných kruhoústnic, bezčelistnatce, Agnatha, Cyclostomata, však nie sú umiestnené v kanálikoch, ale v radách izolovaných jamiek). Hlavnou zložkou tohto systému je postranná zmyslová línia ("postranná čiara"), ktorá beží horizontálne po stranách trupu a na hlave sa zložito vetví. Hlavové vetvy sa označujú podľa svojej topografickej pozície (infraorbitálna, supraorbitálna, mandibulárna a pod.). Pretože sa v ich blízkosti zakladajú osifikačné centrá dermálnych kostí, sú tieto vetvy dôležitým vodítkom pri ďalších zmenách lebečných kostí. Kanáliky sú väčšinou zanorené pod povrch kostí či šupín a na povrch tela ústia len izolovanými otvorčekmi. Neuromasty vznikajú z epidermálnych plakód; v hlavovej oblasti sa tak zakladajú neuromasty a ich senzitívna inervácia náležiaca V. a VII. hlavovému nervu; a v trupovej časti sa neuromasty zakladajú z plakód, rovnako ako senzitívne vlákna zahrnuté do X. hlavového nervu.

Postranná zmyslová línia zastupovala u primárne vodných stavovcov sluch (niektoré z nich môžu nepochybne týmto systémom registrovať i zvukové kmity prichádzajúce prostredníctvom vodného prostredia, takže môžu "počuť", i keď špeciálny sluchový aparát ešte nemajú). Pri prechode stavovcov na súš sa však sluchový orgán vyvinul jednoduchou expanziou lageny. U suchozemských stavovcov funguje taktiež na princípe mechanoreceptoru a má tiež rovnaký embryonálny pôvod a inerváciu. Pretože i rovnovážny orgán vznikol z mechanoreceptorov, majú sluchový a rovnovážny orgán veľmi úzku topografickú súvislosť. Statoakustický orgán ako celok je možno považovať za časť postrannej zmyslovej línie zanorenej hlboko pod povrch tela.

U suchozemských stavovcov sa **lagena** postupne predlžovala a vnútri sa vytvorilo políčko obrveného zmyslového epitelu označovaného ako papilla basilaris. Je to receptor vibrácií prenášaných z vonkajšieho prostredia do vnútorného ucha prostredníctvom orgánov stredného ucha. U plazov a vtákov sa lagena postupne natoľko predĺžila, že sa z nej stala tenká a dlhá trubica vyplnená endolymfou, ktorá sa u cicavcov slimákovite stočila, a preto sa nazýva blanitý slimák (**ductus cochlearis**, resp. scala media). [1, str. 102-104]

Štruktúry vnútorného ucha nezasahujú na povrch lebky, ale sú od neho oddelené priestorom, v ktorom sú uložené branchiálne (faryngeálne, u rýb- žiabrové) oblúky a na povrchu je vrstva kostí dermálneho exokrania. Pri prechode stavovcov na súš sa vytvoril systém, ktorý prevádza vibrácie z vonkajšieho prostredia cez tieto

periférne vrstvy do vnútorného ucha. Tento systém vznikol modifikáciou elementov kostrovej výstuhy branchiálnych oblúkov (branchiálií) a ich presunom do rudimentárnej branchiálnej štrbiny medzi čeľustným a hyoidným oblúkom a pravdepodobne tiež modifikáciou dermálnej kosti, ktorá ležala nad touto oblasťou na povrchu lebky. Vzniklo tak stredné ucho. [1, str. 105]

Branchiálne oblúky sú tvorené sériou chrupaviek vrátane dorzálnych (epibranchiálnych) a laterálnych (ceratobranchiálnych) elementov. Čeľuste stavovcov pôvodne predstavujú premenený prvý pár branchiálnych oblúkov, ktorý je preto nazývaný čeľustným oblúkom. Ceratobranchiálne časti na ľavej i pravej strane prvého branchiálneho oblúku tvoria čeľustné chrupavky primárnej dolnej čeľuste, a epibranchiálna časť tvorí *palatoquadratum*- chrupavku primárnej hornej čeľuste. Pravá i ľavá polovica každej čeľuste sa mediálne spájajú, a chrupavkovitý základ primárnej čeľuste (hornej i dolnej) je postupne prekrytý kryciami kosťami (dermálnym skeletom), ktoré vytvárajú sekundárne čeľuste. U tetrapod (obojživelníky, plazy, vtáky a cicavce) tieto krycie kosti obvykle spájajú hornú čeľusť s lebkou tak pevne, že je pohyblivá len dolná čeľusť; u parýb a väčšiny rýb sa však obidve, tj. horná i dolná čeľusť, pohybujú nezávislo na lebke.

Dorzálna časť druhého branchiálneho oblúku, ktorý sa nazýva jazylkový, je tvorená chrupavkami nazvanými hyomandibulare, a u primárne vodných čeľustnatcov zprostredkuje pripojenie hornej a dolnej čeľuste k neurocraniu. Ventrálna časť tohto oblúku sa nazýva hyoideum. Jazylkový oblúk je u najstarších čeľustnatcov- Placodermi- nezmenený. Primitívne žraloky a lalokoplutvovce (lalokoploutvé ryby, Crossopterygii, jediným žijúcim zástupcom je latiméria divná) majú k neurocraniu pripojené nielen palatoquadratum (primárnu hornú čeľusť), ale i hyomandibulare. U väčšiny parýb a recentných rýb preberá funkciu spoja medzi čeľustným oblúkom a neurocraniom len hyomandibulare, pretože palatoquadratum sa premenilo na os quadratum nesúce primárny čeľustný kĺb pre pripojenie spodnej čeľuste. U obojživelníkov, plazov, vtákov a cicavcov je spôsob pripojenia čeľustí k neurocraniu ovplyvnený stupňom rozvoja dermálneho skeletu a horná čeľusť tvorená len kryciami kosťami pevne zrastá s lebkou.

Os quadratum sa u cicavcov mení na sluchovú kostičku *nákovku* (*incus*). Zaniká preto primárny čeľustný kĺb a vzniká čeľustný kĺb sekundárny. Primárna spodná čeľusť je postupne redukovaná a presúva sa do dutiny neurocrania vo forme sluchovej kostičky *kladivka* (*malleus*). Z hyomandibulare druhého- jazylkového

branchiálneho oblúku sa u obojživelníkov, plazov a vtákov vyvíja sluchová kostička columella. U cicavcov sa táto kostička volá *strmienok* (stapes). Z dolných elementov tohto oblúku sa u suchozemských stavovcov vyvíja časť jazyľky. Z branchiálnej štrbiny medzi čeľustným a jazyľkovým oblúkom vzniká u amniot dutina stredného ucha. [5, str. 10-11]

Trieda: Chondrichthyes- paryby, zahŕňa žraloky, raje a chiméry. Vo vnútornom uchu sú vytvorené tri polokruhovité kanáliky, avšak utriculus, sacculus a lagena sú len naznačené. [5, str. 13]

Trieda: Pisces- ryby, majú tri polokruhovité kanáliky s veľkými otolitmi umožňujúcimi vnímanie polohy. Bubienok a stredné ucho zatiaľ chýbajú. Majú vyvinutú postrannú čiaru. [5, str. 16]

Trieda: Amphibia- obojživelníky, majú už vyvinuté stredné ucho, ale nie vonkajšie ucho, takže bubienok sa nachádza na povrchu tela živočícha. Bubienkové membrány, uložené po oboch stranách hlavy, zachytávajú zvukové vlny na vzduchu i vo vode. Vibrácie bubienka sú prenášané cez stredné ucho tyčinkovitou ušnou kostičkou (*columella*), ktorá spája bubienok a vnútorné ucho. Vlastným sídlom sluchovej percepcie je výbežok sacullu označovaný *lagena*, kde sú okrem macula lagenae, začínajúc obojživelníkmi, i papilla basilaris, v ktorých sú neskôr u vyšších stavovcov takmer výhradne sústredené sluchové bunky. Larvy obojživelníkov majú prúdový orgán. [5, str. 26]

Je pozoruhodné, že u žiab sa na stavbe sluchovej kostičky podieľa i vonkajšia chrupavkovitá časť (pars externa plectri), ktorá vznikla z palatoquadrata (teda mandibulárneho oblúku), rovnako ako chrupavkovitý prstenec, vnútri ktorého je napnutý sluchový bubienok (membrana tympani). U žiab (a pravdepodobne i u niektorých primitívnych paleozoických obojživelníkov) je teda sluchová kostička zloženého pôvodu. Naproti tomu u chvostnatých obojživelníkov (Caudata- mloky) sluchový bubienok úplne chýba a columella je rudimentárna. Vibrácie z vonkajšieho prostredia sa privádzajú do vnútorného ucha prostredníctvom drobného svalu *m. opercularis*, ktorý sa jedným koncom upína do tesného okolia foramen ovale, druhým koncom na lopatku. Podnety z vonkajšieho prostredia sa teda registrujú prostredníctvom prednej končatiny, lopatkového pletenca a zmieneneho svalu. Je tiež nutné dodať, že i u plazov sa sluchová kostička vytvorila taktiež celkom zvláštnym spôsobom, takže je zrejmé, že i keď je columella v zásade vytvorená na báze hyomandibuly, nie sú to celkom homologické štruktúry. [1, str. 105-106]

Trieda: Reptilia- plazy, pokračuje vývoj blanitého labyrintu a hlavne pretiahnutej lageny, ktorá obsahuje omnoho viac akustických receptorov, než u obojživelníkov. Hady (Ophidia) a pahady (Amphisbaenia) majú redukované stredné ucho, zatiaľ čo u ostatných je dobre vyvinuté, vrátane sluchovej kostičky columelly. [5, str. 36]

Trieda: Aves- vtáky, vnútorné ucho vtákov a cicavcov sa od vnútorného ucha ostatných plazov líši len tvarom lageny, v ktorej kanále je zmyslový epitel odpovedajúci Cortiho orgánu u cicavcov. V strednom uchu je, rovnako ako u plazov, columella. Vonkajšie ucho je vytvorené vo forme krátkeho vonkajšieho zvukovodu. [5, str. 43] Pri jeho vyústení na povrchu hlavy býva kožný val so zdvíhateľnými pierkami, ale napríklad sovy môžu mať náznak ušnic a majú tiež uzatvárateľné ústie vonkajšieho zvukovodu; ušné otvory majú postavené asymetricky.

Trieda: Mammalia- cicavce, majú stredné ucho vybavené tromi sluchovými kostičkami (incus, malleus, stapes). Vo vnútornom uchu je mnohonásobne stočená lagena nazývaná slimák (cochlea), vnútri ktorého je vlastný analyzátor zvuku- Cortiho orgán. [5, str. 49]

Netopiere podradu Microchiroptera, delfíny a veľryby sa orientujú i pomocou echolokácie- vysielajú zvuk, ktorý sa odrazí od predmetu späť ku zdroju, kde je zachytený. Podľa časového oneskorenia medzi vyslaním zvuku a prijatím jeho echa sú tieto zvieratá schopné určiť vzdialenosť predmetov (prekážok, ale i potravy) vo svojom okolí. Netopiere generujú ultrazvuk o frekvencii 14 000 až 100 000 Hz (čo je u väčšiny ľudí ďaleko za hranicou počuteľnosti) laryngom a vypúšťajú ho otvorenými ústami alebo nosom. [7] Vracajúce sa echo potom zachytávajú veľkými ušnicami a výrastkami na nose a okolo uší. [5, str. 54] Napríklad slony (hlavne slon africký) majú tiež veľké ušnice, u slonov však nevylepšujú nijakým zásadným spôsobom schopnosť počuť- slúžia na ochladovanie tela; pod ich tenkou kožou, ktorá je inde na tele až 2,5 cm hrubá, sa nachádza bohatá žilná pleteň odvádzajúca z uší krv ochladenú jemným vánkom, ktorý vzniká, keď slon máva ušami. Pretože slon africký žije v teplejšom podnebí než slon indický, má i väčšie ušnice. [8] A nielen u slonov, ale i u iných cicavcov slúžia ušnice i ako komunikačný nástroj.

III. Konečná anatomická stavba ľudského ucha

Ľudské ucho sa štandardne delí na vonkajšie ucho, stredné ucho a vnútorné ucho. Obsahuje rovnovážny i sluchový aparát a výrazným spôsobom zasahuje do motoriky človeka.

III.A Vonkajšie ucho (auris externa)

Vonkajšie ucho tvorí ušnica (auricula), vonkajší zvukovod (meatus acusticus externus) a bubienok (membrana tympani).

Ušnica (auricula) smeruje akustické vlny do zvukovodu, je spevnená chrupavkou. Môže mať rôzny tvar i veľkosť, ale jej prítomnosť pre vnímanie zvuku nie je nutná.

Auricula je plochý útvar s typickým reliéfom, pripojený k hlave v uhle 20-40°. Jeho horný okraj je asi vo výške koreňa nosu, dolný okraj približne vo výške spina nasalis anterior. Podkladom ušnice je elastická chrupavka, cartilago auriculae, ktorá je väzivom pripojená k periostu.

Tvar a hlavne reliéf ušnice sú individuálne dosť premenlivé, predsa však je na ušnici niekoľko charakteristických útvarov:

helix- vonkajší zavinutý okraj ušnice, ktorý vpredu začína ako *crus helix*;

antihelix (*anthelex*)- val v ploche ušnice, pozdĺž zadnej časti ušnice, obkolesuje preliačinu -concha auriculae- ktorou ušnica prechádza do vonkajšieho zvukovodu. Concha auriculae je ďalej pretiahnutá dopredu dolu a ohraničená dvoma hrbolkami:

tragus- plochý hrbolček pred začiatkom vonkajšieho zvukovodu- uzatvára konchu zpredu a

antitragus- malý hrbolček naväzujúci kaudálne na antihelix- ohraničuje konchu zozadu. Medzi tragom a antitragom je zárez- incisura intertragica, ktorý je ventrokaudálnym pokračovaním konchy.

Kaudálne od incisura intertragica už nie je vytvorený chrupavkovitý podklad a ušnica tam končí ako mäkký **lobulus auriculae**- ušný lalôčik, čo je väzivom vyplnená kožná duplikatúra. Ušný lalôčik má veľkú individuálnu tvarovú variabilitu. [3, str. 605] U ľudí môže byť voľný alebo pripojený k hlave. Forma ušného lalôčika je dedičná: voľne visiace sú dané dominantnou alelou, a pripojené sa dedia recesívne. Ušný lalôčik obsahuje mnohé nervové zakončenia a preto je považovaný za erotogénnu zónu. Žiadna iná funkcia nie je známa. [9]

Na ušnici sa môžu objaviť i variabilné útvary, napr. *tuberculum auriculae* (*Darwini*)- variabilný, individuálne rôzne veľký hrbolček hore, vzadu na zatočenom okraji helixu; môže byť nezatočený a pretiahnutý dozadu, čo je znak ušnice nižších primátov.

Poprehýbanie ušnice a jej pomerne zložitý, avšak typický reliéf, je možné považovať za funkčnú úpravu. Bolo pokusne ukázané, že prúd vzduchu, narážajúci z akejkoľvek strany na ušnicu, vytvorí vplyvom reliéfu prednej plochy ušnice vzdušný vír, ktorý vychádza od povrchu ušnice smerom von a zabraňuje zanášaniam prachu do cavum conchae a do vonkajšieho zvukovodu.

Koža ušnice je tenká; na prednej ploche je pevne prirastená k perichondriu chrupavky ušnice; na zadnej ploche je o trochu voľnejšia.

Na vonkajšom obvode helixu sú na koži jemné chlpy; po 40. tom roku veku sa tam objavujú tuhé, silné, kraniálne smerujúce chlpy; patria k tzv. *sínusovým chlpom*, ktoré- vybavené cievnyimi sínusmi a nervovou pleteňou okolo bulbus pili- predstavujú hmatové chlpy a vyskytujú sa u človeka ako vývojový rudiment. [3, str. 606-608]

Sínusové (hmatové) chlpy predstavujú zvláštny typ chlpor; sú silné, tvrdé a pomerne dlhé; vyrastajú jednotlivo; ich vlasové pošvy majú bohaté nervové zakončenia a okolo bulbus pili je sieť širokých krvných kapilár- sínusov. U nižších cicavcov fungovali ako detektory jemného dotyku pri kontakte organizmu s okolím. Vyskytujú sa na typických miestach: na hranici vnútornej a strednej tretiny obočia, na tvári pod dolným očným viečkom, na dolnej strane tváre pod musculus masseter, na zadnom obvode ušnice (kde rastú kraniálne), niekedy na vonkajšom okraji hornej pery a na ulnárnej strane distálneho konca predlaktia (v oblasti hlavice ulny). [3, str. 567]

Ušnica má i svoje svaly; delia sa na:

vonkajšie svaly ušnice- idú z okolia ku koreňu ušnice; pôvodne (u nižších cicavcov) slúžili natáčaniu celej ušnice smerom k prichádzajúcemu zvuku. Niektorí ľudia majú schopnosť malých voľných pohybov ušnicou, väčšinou v súhyboch s inými mimickými svalmi,

vlastné svaly ušnice sú u človeka úplne rudimentárne vo forme útlych a krátkych svalových snopcov; u nižších cicavcov slúžili k aktívnym zmenám tvaru ušnice v súvislosti s jej natočením (vonkajšími svalmi) k prichádzajúcemu zvuku. [3, str. 608]

Vonkajší zvukovod (sluchový kanálik, meatus acusticus externus) je trubica zčasti kostená a zčasti chrupavkovitá, na jej konci sa nachádza bubienok oddeľujúci vonkajšie a stredné ucho.

Meatus acusticus externus ide od cavum conchae ku stredoušnej dutine, od ktorej je zvukovod oddelený bubienkom- membrana tympani. Rozlišujeme vonkajší chrupavkovitý úsek- *meatus acusticus externus cartilagineus*, a vnútorný kostený úsek, ktorého podkladom je pars tympanica spánkovej kosti.

Vonkajší zvukovod začína v hĺbke concha auriculae ako **porus acusticus externus**- otvor (vstup) do vonkajšieho zvukovodu; odtiaľ (pri pohľade zhora) ide zvukovod najskôr šikmo ventromediálne, potom ide v krátkom úseku priamo mediálne (leží vo frontálnej rovine) a po miernom zalomení pokračuje opäť ventromediálne až k bubienku, ktorým končí. Pozdĺžne osy konečných úsekov obidvoch vonkajších zvukovodov sa teda ventromediálne zbiehajú v uhle 160°.

Kvôli dvojitému zalomeniu zvukovodu v horizontálnej rovine a jeho mierny oblúkovitý zostup v rovine frontálnej nie je vidieť na bubienok zvonku; zvukovod sa čiastočne vyrovná pri ťahu za ušnicu dozadu a nahor.

Koža zvukovodu má podobný charakter ako na prednej strane ušnice, je tenká a prirastená k periostu. Na koži blízko porus acusticus externus sú silné chlpy-tragi, ktoré s postupujúcim vekom silnejú. Vo vonkajších dvoch tretinách zvukovodu sú mnohé žľazy- glandulae ceruminosae, produkujúce cerumen- ušný maz. [3, str.608] Rozlišujeme dva základné typy ušného mazu, suchý a vlhký. Typ ušného mazu je dedený autozomálne dominantne; suchý je častejší u aziatov, vlhký je typický u belochoch a černochoch. Tragi a cerumen vychytávajú častice prachu, ktoré eventuálne prenikli do porus acusticus externus. Zvukovod má samočistiacu schopnosť, nečistoty sa z neho vypudzujú smerom von.

Časť zadnej steny vonkajšieho zvukovodu je inervovaná vetvičkou n. vagus-
r. auricularis n.vagi, táto je aferentnou zložkou tzv. Arnoldovho (oto- respiračného)
reflexu: pri podráždení mechanoreceptorov (cudzím telesom pri čistení ucha, alebo
nahromadeným cerumenom) v stene vonkajšieho zvukovodu dôjde k záchvatu kašľa,
ev. i k vracaniu a dokonca k srdcovej zástave.

Bubienok- membrana tympani

je tenká, ružovo sivá membrána, oddeľujúca vonkajší zvukovod
od stredoušnej dutiny. Má zhrubnutý okraj zosílený v prstenci tuhej väzivovej
chrupavky, ktorým je zachytený v žliabku spánkovej kosti- *sulcus tympanicus ossis*
tympanici.

Membrana tympani je tvorená troma vrstvami: vonkajšia vrstva je
pokračovaním tenkej kože zvukovodu, stredná vrstva je tvorená väzivom a vnútorná
vrstva predstavuje sliznicu stredoušnej dutiny.

Bubienok je lievikovito vtiahnutý dovnútra do stredoušnej dutiny; má tvar
plytkej nálevky; **umbo membranae tympani** je stred tohto vtiahnutia; od umbo
kraniálne a mierne dopredu sa tiahne **stria mallearis**- biely prúžok, v ktorom je
k bubienku zo stredoušnej strany prirastená rukoväť kladivka- *manubrium mallei*;
na hornom konci *stria mallearis* je na vonkajšej (zvukovodovej) strane bubienku malý
výstupok- **prominentia mallearis**, ktorú vyzdvihuje *processus lateralis mallei*.

Od *prominentia mallearis* idú po vnútornej strane bubienku a na jeho
vonkajšej strane presvitajú dve riasy stredoušnej sliznice-

plica mallearis anterior- dopredu nahor k obvodu bubienku, a

plica mallearis posterior- dozadu nahor k obvodu bubienku; obe riasy
medzi sebou a obvodom bubienku uzatvárajú **pars flaccida membranae tympani**
(*membrana Shrapnelli*)- tenšiu časť bubienku, ktorá je hore fixovaná do *incisura*
tympanica a nie je taká napnutá ako hlavná časť bubienku-

pars tensa membranae tympani- tužšia a napnutá časť- v ktorej presvitajú
väzivové vlákna strednej vrstvy bubienku. [3, str. 609]

Postavenie bubienku

Bubienok stojí šikmo, sklonený prednou stranou dovnútra do stredoušia a
zadnou stranou von do zvukovodu (*deklinácia* bubienku- asi 50° proti sagitálnej
rovine), a dolnou stranou dovnútra do stredoušia a hornou stranou von do zvukovodu

(*inklinácia* bubienku- asi 40-50° proti transverzálnej rovine). Z toho vyplýva i rôzna dĺžka stien zvukovodu a rôzny uhol na hranici stien zvukovodu a bubienku (s prednou a s dolnou stenou zvukovodu zvierajú ostrý uhol). [3, str. 609]

III.B Stredné ucho (*auris media*)

Je systém dutín vystlaných sliznicou, ktoré sú derivátom prvej branchiálnej výchlípky. Epitel v strednom uchu je entodermového pôvodu; k nemu sa k vytvoreniu sliznice pripojilo slizničné väzivo z príslušného mezenchýmu. 1. žiabrová výchlípka sa šírila z embryonálneho faryngu kraniolaterálne ako výstelka Eustachovej trubice, potom sa rozšírila ako stredoušná dutina a šíriaca sa sliznica zaobalila stredoušné kostičky, ktoré sa medzitým v mezenchýme vytvárali. Proti žiabrovej výchlípke sa zvonku prehlboval ektoderm v 1. žiabrovú priehlbínu. Na styku vnútornej výchlípky a vonkajšej priehlbiny vznikol bubienok, kde medzi dvoma epitelovými plochami zostala vrstvička mezenchýmu, ktorá sa vydiferencovala v *stratum radiatum* a *stratum circulare* bubienku. Epitelová výchlípka sa potom ešte šírila zo stredoušnej dutiny ďalej, čím vznikli za stredoušnou dutinou sliznicou vystlané dutinky s ňou spojené: *aditus ad antrum mastoideum*, *antrum mastoideum* a pneumatizované *alveoly* v *processus mastoideus*.

Cavitas tympani- stredoušná (bubienková dutina) je najpriestornejšia z celého komplexu stredoušných priestorov; na frontálnom reze má tvar presýpacích hodín- ich zúženú časť tvoria proti sebe stojace útvary: na vonkajšej strane je to do dutiny vtiahnutý bubienok a na vnútornej strane je to vyklenuté promontorium. *Tuba auditiva* (*tuba pharyngotympanica*, Eustachii) i vstup do *antrum mastoideum* (*aditus ad antrum*) sú s vlastnou stredoušnou dutinou spojené kraniálne, pod jej stropom.

Steny stredoušnej dutiny majú názvy podľa anatomických útvarov, ktoré ich charakterizujú:

paries membranaceus- *laterálna stena*- tvorí ju bubienok, kraniálne nad ním ešte časť os tympanicum; pri laterálnej stene sa stredoušná dutina vykľenuje v *recessus epitympanicus*, v ktorom sú uložené veľké časti sluchových kostičiek- hlavica kladivka a telo nákovky;

paries tegmentalis- *strop* stredoušnej dutiny- je vrstva kosti prednej plochy pyramídy spánkovej kosti (tegmen tympani);

paries jugularis- *dolná stena* stredoušnej dutiny- súčasne tvorí kostený strop fossa jugularis; začína na nej *canaliculus tympanicus*, ktorým vstupuje pod sliznicu stredoušnej dutiny n.tympanicus (z n.IX) a a.tympanica inferior (z a. pharyngea ascendens);

paries caroticus- *predná stena-* pred ktorou je canalis caroticus pyramídy; v stene sú drobné otvory, ktorými pod sliznicu stredoušnej dutiny vstupujú nn. caroticotympanici (sympatické vetvičky z plexus caroticus internus, ktoré sa pridávajú do plexus tympanicus a k n. tympanicus); pod stropom stredoušnej dutiny ide od hrotu pyramídy *canalis musculotubalis*, v ktorého spodnej etáži je *tuba auditiva*, otvorená do stredoušnej dutiny prostredníctvom *ostium tympanicum tubae auditivae*; canalis musculotubalis je smerom von od canalis caroticus; horná etáž muskulotubálneho kanálu obsahuje *m. tensor tympani*, ktorý vstupuje do stredoušnej dutiny; jeho sliznicou pokrytá tenká šľacha mení smer okolo processus cochleariformis a upína sa na rozhraní rukoväte a krčka kladivka;

paries mastoideus- *zadná stena-* je užšia; v jej hornej časti pokračuje stredoušná dutina ako *aditus ad antrum mastoideum-* vchod do antra- do ďalšej dutiny, *antrum mastoideum-* ktorým je pneumatizovaná kraniálna časť processus mastoideus a odkiaľ pokračujú ďalšie slizničné výchlipy ako *cellulae mastoideae* do zadných a kaudálnych častí processus mastoideus;

paries labyrinthicus- *vnútorná stena-* je rozsiahla; predstavuje ju facies ventrobasis pyramidis, za ktorou je v pyramíde kostený labyrint; typické útvary na kostenom podklade paries labyrinthicus sú:

promontorium- najnápadnejší útvar na paries labyrinthicus- veľké zaoblené vykľutie do stredoušnej dutiny, vyzdvihnuté prvým (bazálnym) závitom kosteného slimáka vnútorného ucha;

sulcus promontorii (sulcus nervi tympanici)- vertikálna ryha na promontoriu, v ktorej nahor prebieha n. tympanicus (z n. IX), ktorý vstúpil cez paries jugularis (prijíma vetvičky z nn. caroticotympanici) a vystupuje ako n. petrosus minor v hiatus canalis nervi petrosi minoris na prednú plochu pyramídy;

fenestra vestibuli (fenestra ovalis)- za promontoriom kraniálne, oválne okienko, do ktorého je pružne zasadená báza strmienka;

fenestra cochlae (fenestra rotunda)- za promontoriom kaudálne, guľaté okienko, za čerstva zatvorené membránou- *membrana tympani secundaria*- ktorá je tiež označovaná ako vnútorný bubienok;

prominentia canalis facialis- pozdĺžny val nad fenestra vestibuli, v ktorom prebieha horizontálny (druhý) úsek canalis facialis a vzadu prechádza v zostupný (tretí) úsek;

prominentia canalis semicircularis lateralis- obdobný pozdĺžny val kraniálne nad predchádzajúcim- obsahuje laterálnu polkruhovitú chodbu kosteného labyrintu;

eminentia pyramidalis- drobná kostená vyvýšenina vzadu na zostupnej časti canalis facialis; z jej hrotu vychádza časť svalu a šľacha m. stapedius a n. stapedius pre tento sval; m. stapedius- krytý sliznicou stredného ucha- sa upína na hlavičku strmienka pri odstupe jeho zadného ramienka; m. stapedius a m. tensor tympani svojím napätím regulujú rozsah kmitov bubienka a strmienka;

canaliculus chordae tympani- vstupuje zozadu do stredoušnej dutiny smerom od zostupného úseku canalis nervi facialis; chorda tympani potom prechádza stredoušnou dutinou v slizničnej riaske a vystupuje vo fissura petrotympanica.

Stredoušná dutina obsahuje sluchové kostičky- *ossicula auditus*:

kladivko, nákovka a strmienok vytvárajú pohyblivo spojenú reťaz, ktorá prenáša chvenie bubienku, spôsobené zvukovými vlnami, do perilymfatického priestoru vnútroušného labyrintu a na jeho obsah- perilymfu. [3, str. 610-612]

Malleus- kladivko

Má zaoblenú hlavičku kladivka (*caput mallei*), ktorá je in situ uložená v nadbubienkovom zálive (*recessus epitympanicus*). Na zadnom obvode má nepravidelne sedlovitú kĺbovú plôšku pre nákovku (*incus*). Hlavička sa zužuje do krčka kladivka (*collum*), ktorý smeruje dovnútra od *pars flaccida membranae tympani* a prechádza zvislo nadol do pretiahnutej rukoväte kladivka (*manubrium mallei*). Rukoväť podmieňuje na bubienku kladivkový prúžok (*stria mallearis*) a na svojom konci sa nepatrným výbežkom ohýba navonok a pevne zrastá s bubienkom a podmieňuje pupeň bubienkovej blany (*umbo membranae tympani*). Pri krčku sa rozširuje a vysiela dva výbežky: bočný výbežok kladivka (*processus lateralis*), ktorý na bubienku spôsobuje *prominentia mallearis* a vpredu tenký dlhý

predný výbežok kladivka (*processus anterior*), ktorý vniká do skalnobubienkovej štrbiny (*fissura petrotympanica*). [12]

Incus- nákovka

Pripomína tvarom nákovku alebo črenový zub s dvoma divergujúcimi koreňmi. Objemnejšie telo nákovky (*corpus incudis*) je zaoblené, vertikálne sploštené a podobne ako hlava kladivka (*caput mallei*) vyčnieva do nadbubienkového zálivu (*recessus epitympanicus*). Vpredu má sedlovitú kĺbovú plôšku, ktorá korešponduje s podobnou plôškou na kladivku. Smerom dozadu sa telo nákovky plynule zužuje do kónického výbežku -krátkeho ramena nákovky (*crus breve incudis*). Krátke rameno nákovky prebieha horizontálne vo fossa incudis a väzom sa upína na zadnú stenu bubienkovej dutiny - *paries mastoideus cavi tympani*. Druhý výbežok - dlhé rameno nákovky (*crus longum incudis*) - je tenký a smeruje takmer paralelne s rukoväťou kladivka (*manubrium mallei*) nadol a nepatrne dopredu. Na konci sa mediálne ohýba a končí sa malým hrbčekom nazývaným šošovkovitý výbežok (*processus lenticularis*), ktorý má okrúhlu rovnú kĺbovú plôšku pre strmienok. [13]

Stapes- strmienok

Má typickú podobu jazdeckého strmeňa. Má hlavičku strmienka (*caput stapedis*), od ktorej vybiehajú dve krátke, horizontálne uložené ramienka strmienka (*crura stapedis*); predné (*crus anterius*) a zadné, viac ohnuté (*crus posterius*). Obidve ramienka sa končia v tenkej platničke - báze strmienka (*basis stapedis*), ktorá má obličkovitý tvar. Báza strmienka má horný okraj konvexný, dolný máličko konkávny alebo rovný. Zapadá do okienka predsiene (*fenestra vestibuli*), kde ho upevňuje poddajný prsteňovitý vaz strmienka (*ligamentum anulare stapedis*). Otvor medzi obidvoma ramienkami strmienka je zvyškom z vývinového obdobia. Materiál hyoidného oblúka, z ktorého sa vyvíja strmienok, sa koncentruje okolo tepny strmienka (*arteria stapedia*), ktorá neskôr zaniká, ale otvor v strmienku sa zachová. Výnimočne môže tepna strmienka perzistovať. Otvor strmienka je za živa uzavretý membránou - blanou strmienka (=membránou strmienka; *membrana stapedis*), ktorá je často fenestrovaná. [14]

Stredoušná dutina pokračuje dozadu do processus mastoideus:

aditus ad antrum je sliznicou vystlaný otvor pod stropom zadnej steny stredoušnej dutiny; ním prechádza stredoušná dutina dorzálne do

antrum mastoideum, čo je priestor individuálne rôzne rozsiahly, pokračujúci z vlastnej stredoušnej dutiny dorzálne do processus mastoideus; odtiaľ potom dorzálne a kaudálne pokračujú

cellulae mastoideae- drobné sliznicou vystlané dutinky- alveoly - komunikujúce navzájom a s antrum mastoideum, ktorými je pneumatizovaný processus mastoideus. [3, str. 615]

Tuba auditiva- sluchová trubica (tuba pharyngotympanica, Eustachova trubica)- spája stredoušnú dutinu s nazofaryngom (je pozostatkom prvej žiabrovej vychlípky, ktorá sa na svojom slepom konci rozšírila v stredoušnú dutinu). Vychádza zpod stropu stredoušnej dutiny ventromediálne, pričom sa smerom do nosohltanu kaudálne zvažuje.

Sliznicou vystlaná tuba je po výstupe zo stredoušnej dutiny najskôr v kostenom kanále- *pars ossea tubae auditivae*- čo zodpovedá kostenému canalis musculotubalis; tento úsek tuby v apikálnej časti pyramídy leží dovnútra od canalis caroticus a je dlhý vyše 1 cm, čo je asi tretina dĺžky celej tuby; *pars cartilaginea tubae auditivae*- chrupavkovitá časť tuby, je dlhá asi 2,5 cm a dosahuje až k ústiu tuby do faryngu. *Ostium pharyngeum tubae auditivae*- ústie tuby do nosohltanu, je postavené zvislo, nálevkovité až štrbinovité, uložené na bočnej stene nosohltanu. Chrupavkovitý väzivom doplnený koniec tuby tu vyzdvihuje sliznicu hltanu v *torus tubalis*- vyvýšený slizničný val okolo otvoru ústia tuby. V sliznici tuby sú drobné zmiešané žliazky a lymfatické uzlíky. Väčšie nahromadenie lymfatického tkaniva je okolo ústia tuby do nosohltanu- *tonsilla tubalis*, ktorá je súčasťou miazgového Waldeyerovho okruhu. [3, str. 615-616] Pri prehltaní, žuvaní a zívaní sa trubica otvára a vzduch môže vchádzať do stredného ucha a vychádzať von. Je to ale zároveň aj častá cesta vstupu infekcie do stredného ucha.

V strednom uchu sa nachádzajú i dva významné svaly: musculus tensor tympani pripojený ku kladivku (inervácia n. trigeminus)- napína bubienok a vtáhuje ho lievikovite do stredoušnej dutiny, a musculus stapedius (inervácia n. facialis)

pripojený na strmienok, pri kontrakcii vyťahuje strmienok z fenestra vestibuli a prenesene uvoľňuje bubienok.

III.C Vnútorné ucho (auris interna)

Predstavuje vlastný sluchový orgán- cochlea, a predsieňový aparát- orgán kontrolujúci rovnováhu tela. Býva označovaný i ako bludisko, zložený je z kosteného bludiska (*labyrinthus osseus*), v ktorom sa nachádza blanité bludisko (*labyrinthus membranaceus*) a blanitý slimák (*ductus cochlearis*).

Vnútorné ucho je uložené v pars petrosa ossis temporalis- v pyramíde skalnej kosti; *labyrinthus osseus*- kostený labyrint má však steny tvorené vláknitou kosťou a tým sa líši od okolitej kompakty a spongiózy skalnej kosti.

Labyrinthus osseus je v embryonálnej dobe vytvorený z vláknitej kosti skôr, než je osifikovaná pyramída; u plodov a novorodencov leží na povrchu budúcej pyramídy, ktorá ho postupne obkolesuje svojou novotvorenou kosťou, až ho úplne obklopí vo svojom vnútri; pôvodná vláknitá kosť na mnohých miestach perzistuje, a preto je na hranici labyrintu a kosti pyramídy zjavná štrukturálna rozdielnosť obidvoch druhov kostí a kostený labyrint u detí a mladých jedincov je možné zo skalnej kosti vypreparovať; hranica obidvoch štruktúr sa s postupujúcim vekom stráca.

Vnútri kosteného labyrintu, ktorý je vystlaný periostom, je objemovo menší a celkom uzatvorený *labyrinthus membranaceus*- blanitý labyrint- vystlaný väčšinou jednovrstvovým plochým až kubickým epitelom, ktorý je zvonku doplnený tenkou väzivovou stenou blanitého labyrintu.

Dutiny kosteného labyrintu vyplňa tekutina označovaná ako *perilymfa*, cestou *canaliculus cochleae* má spojenie so subarachnoideovým priestorom, a teda s mozgomiešnym mokom, s ktorým má rovnaké zloženie.

Dutiny blanitého labyrintu sú celkom uzavreté a vyplnené tekutinou označovanou ako *endolymfa*, tá nemá žiadne spojenie s vonkajškom. Endolymfa má zloženie podobné vnútrobunkovej tekutine a tým sa zásadne líši od perilymfy.

Labyrinthus osseus- kostený labyrint

sa skladá z troch hlavných zložiek:

1. **vestibulum**- väčší ovoidný útvar, vnútri ktorého sú uložené dva vačky blanitého labyrintu, väčší oválny *utrículus* a menší sférický *sacculus*.
Na kostené vestibulum sú vzadu a hore pripojené
2. **canales semicirculares ossei**- tri polkruhové kanáliky, navzájom kolmé; sú orientované podľa pozdĺžnej osy pyramídy (nie podľa hlavných rovín tela); začínajú z vestibulu a v ňom i končia;
 - *canalis semicircularis anterior* sa vykláňa smerom nahor, kolmo na pozdĺžnu osu pyramídy;
 - *canalis semicircularis posterior* sa vykláňa dozadu, rovnobežne s pozdĺžnou osou pyramídy, ale o etáž nižšie než *canalis anterior*;
 - *canalis semicircularis lateralis* sa vykláňa laterálne, vo výške medzi predným a zadným kanálom.

Tá strana každého kanálu, ktorá (vzhľadom k šikmo prebiehajúcej ose pyramídy) začína z vestibulu viac vpredu a laterálne, má na začiatku bankovité rozšírenie; sú teda tri *ampullae osseae*- banky, označené podľa kanálov ako *ampulla ossea anterior, posterior et lateralis*.

Do kosteného labyrintu vedú dve okienka:

fenestra vestibuli (*fenestra ovalis*, predsieňové okno)- nad *recessus cochlearis* vzadu (vzadu nad *promontorium*)- otvor do perilymfatického priestoru vestibula; do okienka je pružne zasadená báza strmienka a je fixovaná väzivami;

fenestra cochleae (*fenestra rotunda*, slimákové okno)- otvor do *recessus cochlearis* (vzadu pod *promontorium*); toto okienko je kryté membránou, označovanou ako *membrana tympani secundaria* (vnútorný bubienok).

Z vestibula naväzuje dopredu dole a mediálne

3. **cochlea**- kostený slimák; u človeka sa skladá z dva a pol až dva a trištvrté stúpajúcich závitov so zmenšujúcim sa polomerom závitov;

basis cochleae je široká 8- 9 mm a celková výška slimáka je 4- 5mm; slimák smeruje zvnútra von, vpravo je pravotočivý, vľavo ľavotočivý, jeho osa má ventrolaterokaudálny smer, kolmý na pozdĺžnu osu pyramídy;

cupula cochleae je vrchol slimáka.

V slimákovi je kostená osa v tvare kužeľa- *modiolus*; okolo *modiolu* sa ovíjajú stúpajúce závitov kosteného kanálu slimáka tak, že *modiolus* je vnútornou

stenou kosteného kanálu; z modiolu vystupuje smerom von do kanálu slimáka špirálna kostená lišta- *lamina spiralis ossea*, ktorá modiolus obtáča, takže modiolus s lamina spiralis ossea sa nápadne podobá slimákovi v strojčeku na mletie masa; lamina spiralis stojí uprostred výšky kanálu slimáka a neúplne ho rozdeľuje na hornú a dolnú časť; od okraja lamina spiralis odstupuje väzivová lamina (*membrana*) *basilaris*, ktorá siaha až k vonkajšiemu obvodu kanálu slimáka a dopĺňa sa s lamina spiralis ossea tak, že rozdelenie kanála na hornú a dolnú etáž je úplné; od vonkajšieho okraja lamina spiralis ossea odstupuje ešte ďalšia membrána- *membrana vestibularis*, ktorá ide šikmo nahor až k vonkajšiemu obvodu kanálu slimáka;

membrana basilaris, membrana vestibularis a časť vonkajšej steny kanálu slimáka medzi nimi oddeľujú priestor s trojuholníkovým prierezom (vysoký pri obvode kanála), ktorý je vlastným priestorom blanitého slimáka, vystlaným epitelom a obsahujúcim endolymfu; membrana basilaris, membrana vestibularis a epitelom pokrytý priestor vonkajšej steny kosteného kanála slimáka vytvárajú priestor pre steny kanálu blanitého slimáka; v blanitom slimákovi je pri membrana basilaris vlastný recepcný sluchový orgán.

Priestory kosteného slimáka nad a pod kanálom blanitého slimáka sú vyplnené perilymfou a označujú sa ako **scala vestibuli**- horný priestor, a **scala tympani**- dolný priestor. Scala vestibuli a scala tympani v seba prechádzajú malým otvorom pri cupula cochleae (okolo slepého konca blanitého slimáka), takže zo stredoušnej dutiny sa dostávame vstupom do fenestra vestibuli do perilymfatického priestoru vestibula a odtiaľ do scala vestibuli slimáka; scala vestibuli vedie až do kupuly slimáka, kde je otvorom- *helicotrema*- okolo slepej kupuly blanitého slimáka prepojená do scala tympani, tou zostúpi až na bázu slimáka a cez fenestra cochleae späť do stredoušnej dutiny.

Labyrinthus membranaceus- blanitý labyrint

je vnútri labyrintu kosteného, vyplnený endolymfou; okolo neho sú priestory kosteného labyrintu vyplnené perilymfou. Časť blanitého labyrintu slúži funkciám rovnovážnym (vestibulárnym) a druhá časť funkciám sluchovým, a preto sa blanitý labyrint delí na dve časti:

labyrinthus vestibularis- kam patria dva vačky, **utricleus** a **sacculus**, uložené v kostenom vestibule, ich spojovací kanálik- **ductus utriculosacculus** zahnutý cez crista vestibuli, z tohoto kanáliku vybiehajúci slepý kanálik- **ductus endolymphaticus**,

a tri blanité polkruhovit  kanáliky- **ductus semicirculares** (anterior, posterior et lateralis);

labyrinthus cochlearis, ktor  tvorí **ductus cochlearis**- blanit  slimák.

Labyrinthus vestibularis

Utriculus (vačok) je oválny vačok, ulo en  v dutine vestibula dorzolater lne od crista vestibuli.

Sacculus (vrec  sko) je menší, skôr sf rick  vačok, ulo en  v dutine vestibula ventromediálne od crista vestibuli.

Vnútri vačkov na ich stenách sa nachádzajú miesta s receptormi gravitácie ozna ovan  ako **maculae staticae**- macula statica utriculi et macula statica sacculi; tieto stoja navzájom kolmo.

Macula statica je pole vyššieho cylindrického epitelu, v ktorom sú zmyslov  bunky; sú to sekundárne zmyslov  bunky, ich bázy ov jaj  zakončenia senzitivnych vlákien vestibulárneho nervu. Z buniek vyčnievajú stereocílie a u nich vždy jedna ultramikroskopicky typick  dl  ia c lia; apikálny povrch buniek je pokryt  relatívne vysokou  elatin znou glykoprote novou vrstvou, do ktorej sú c lie (i stereocílie) ponoren ; na povrchu  elatin znej vrstvy sú rôzne veľk  kryštáliky uhličitanu vápenatého, naz van  **otolity** (otoconie, statoconie); otolity pôsobia svojou hmotnosťou v smere gravitácie na  elatin znu vrstvu a jej prostredníctvom na c lie zmyslových buniek; bunky vnímajú mikroskopick  deformácie c li  a stereocílií a menia ich v nervov  vzruchy; príchodom vzruchov do CNS sa získava obraz smeru pôsobiacej gravitácie a zmien tohoto smeru.

Ductus endolymphaticus (aquaeductus vestibuli) vychádza z ohybu ductus utriculosaccularis ako jeho slep , štíhly výbežok a mieri kolmo na pozd lnu osu pyramídy k jej zadnej ploche, kde v *apertura externa canaliculi vestibuli* vychádza do tvrdej pleny a svojim slepým roz  ren m- *saccus endolymphaticus*- kon  medzi dvoma listami tvrdej pleny mozgu. S postupom ductus endolymphaticus k *saccus endolymphaticus* se men  jeho ploch  epitel vo vyšší cylindrick  epitel, ktorého bunky nesú známky intenzivnej pinocyt zy; týmito bunkami je vstrebávaní endolymfa produkovan  v tmavých bunkách utrikula a polokruhovit ch kanálikov a v *stria vascularis* blanitého slimáka.

Ductus semicirculares (blanit  polokruhovit  kanály)- *ductus semicircularis anterior, posterior a lateralis*- za inaj  a končia v utrikule; majú rovnak 

makroskopickú úpravu ako kanály kostené, s tým, že sú podstatne menšie, pretože sú uložené vnútri perilymfatického priestoru kostených kanálov; v ampulách kostených kanálov sú *ampullae membranaceae* (membrana membranacea anterior, posterior et lateralis); na opačnej strane kanálov sú *crura membranacea* (crus membranaceum commune- spoločné pre predný a zadný kanál, et simplex- samostatné pre laterálny kanál).

V ampulách blanitých polokruhovitých kanálov sú ďalšie zmyslové útvary- *cristae ampullares*; sú to hrebeňovité vyvýšené hrany, odstavajúce od steny ampuly, vždy kolmo na pozdĺžnu os kanálu; obsahujú zmyslové bunky a podporné bunky; každá zo zmyslových buniek nesie dlhú cíliu, ktorá je vložená do vysokej želatinóznej vrstvy nazývanej cupula.

Labyrinthus cochlearis

Ductus cochlearis- *blanitý slimák-* je uložený v kostenom slimákovi medzi okrajom lamina spiralis ossea a vonkajšou stenou kosteného kanálu slimáka; na priereze má trojuholníkovitý tvar a jeho steny tvoria: membrana basilaris, membrana vestibularis a vonkajšia stena kosteného kanálu slimáka.

Ductus cochlearis začína v kostenom recessus cochlearis; jeho slepý začiatok- *caecum vestibulare-* mieri k vestibulu; v malej vzdialenosti od caecum vestibulare je *ductus reuniens-* kanálik spájajúci sacculus s ductus cochlearis; tým je realizovaný jednotný endolymfatický priestor celého blanitého labyrintu; koniec blanitého kanálu slimáka pri kostenej cupula cochleae je tiež slepý a nazýva sa *caecum cupulare*.

Na lamina basilaris kanálu slimáka je uložené **organum spirale** (Cortiho orgán)- vlastný sluchový recepcný aparát. Skladá sa zo zmyslových a podporných buniek; *podporné bunky (Cortiho bunky)-* vysoké, cylindrické, sú navzájom sklonené tak, že vytvárajú trojuholníkovitý Cortiho tunel; po oboch stranách Cortiho tunelu sú *zmyslové bunky (vláskové bunky)*, vnútorné a vonkajšie, ktorých apikálny koniec nesie vždy 40- 50 vysokých stereocílií; vnútorné bunky sú v jednej rade, vonkajšie v 3-4 radách. Stereocílie vláskových buniek vyčnievajú nad úroveň Cortiho tunelu, kde rozšírené horné konce Cortiho buniek vytvárajú tzv. retikulárnu membránu, cez ktorú stereocílie zmyslových buniek vyčnievajú.

Membrana tectoria je rôsolovitá, pomerne hrubá, bezbunková lamela, ktorá prekrýva žliabok medzi vysokými bunkami pri vonkajšom okraji lamina spiralis ossea

a Cortiho orgánom, jednak sám Cortiho orgán a stereocílie vláskových buniek, ktoré sa jej dotýkajú a dokonca do nej prenikajú.

Zmyslové bunky Cortiho orgánu premieňajú mechanické podnety vznikajúce zvukovými vlnami v nervové vzruchy; tie potom predávajú zakončeniam dendritov buniek ganglion spirale.

Vonkajšia stena kanálu blانيتého slimáka je pokrytá vyšším epitelom, jednovrstvovým, miestami dvojrstvovým. Nad pripojením bazilárnej membrány k vonkajšej stene ductus cochlearis je prominentia spiralis- nápadné vyvýšenie obsahujúce žilu- vas prominens. Nad prominentia spiralis je vo vonkajšej stene bohato vaskularizovaný prúžok, označovaný ako stria vascularis; predpokladá sa, že bunky týchto oblastí sú jedným z producentov endolymfy. [3, str. 616- 623]

IV. Fyziológia ľudského ucha

IV.A Fyziológia vonkajšieho ucha

Vonkajšie ucho, hlavne ušnica usmerňuje zvuk do vonkajšieho zvukovodu, ktorý ho ďalej vedie až k bubienku a stredoušnému prevodnému systému. Nachádzajú sa tu mnohé mazové žliazky- *glandulae ceruminosae*, produkujúce ušný maz- *cerumen*, ktorý má ochrannú funkciu. Ušnica plní i dôležitú estetickú a zároveň i praktickú funkciu ako nosič okuliarov a iných ozdobných predmetov- evolučný zámer to pravdepodobne nebol.

IV.B Prenos zvuku v strednom uchu

Pohyby bubienka sa komplikovane prenášajú cez kladivko, nákovku a strmienok, pričom nastáva transformácia založená na pákovom princípe. Efektívna plocha bubienka je podstatne väčšia než plocha strmienka v oválnom predsieňovom obloku, čo vyvoláva ďalšiu hydraulickú transformáciu. Celkový transformačný pomer je u človeka asi 1:18. Relatívne veľké pohyby bubienka s malým tlakom sa tak prevádzajú na malé exkurzie membrány predsieňového obloku s podstatne väčšími tlakmi. Táto *mechanická transformácia* výrazne znižuje straty, ktoré by inak vznikali pri prechode zvukového vlnenia zo vzduchu do tekutiny labyrintu. Účinnosť tohoto prenosu zvuku závisí od frekvencie, pričom najvyššia (38%) je pri frekvencii 1,5 kHz.

Okrem tohoto spôsobu prenosu zvuku je možný aj priamy prenos kmitov zo spánkovej kosti a kosteného púzdra labyrintu na perilymfu vo vnútornom uchu. Na rozkmitanie kostí však treba väčšiu energiu než na rozkmitanie jemných ústrojov stredného ucha. Rozdiel asi 40 dB vzniká sťaženým prenosom medzi kmitajúcim telesom (v kontakte s lebkou) a labyrintom. Tento spôsob počutia je za normálnych podmienok menej častý. Treba s ním počítať v intenzívne ozvučených prostrediach, v ktorých nepomôžu ani tlmiče zvuku na ušiach, pretože zvuky s intenzitou vyššou než 100 dB sa ešte v dostatočnej miere prenášajú kostným vedením priamo do vnútorného ucha. Vtedy zvukové kmity rozkmitávajú celú lebku čiže obidva labyrinty, pričom zvuk môže prichádzať z rôznej strany alebo kmitajúci zdroj môže byť priložený kdekoľvek na lebke. Prah kostného vedenia nie je príliš ovplyviteľný zmenami prevodového systému, a preto vyšetrenie kostného počutia môže byť do značnej miery ukazovateľom funkčnej schopnosti vnútorného ucha.

Vplyvom sťahom malých svalov stredného ucha sa zväčšuje pevnosť prevodového systému, znižuje sa pohyblivosť, a tak sa vnútorné ucho chráni pred nadmernými zvukmi. *M. tensor tympani* (inervácia nervus trigeminus) reflexne aktivovaný silným zvukom vtáhuje bubienok dovnútra a napína ho. *M. stapedius* (inervácia nervus facialis) zase podobne napína membránu oválneho okienka. Prah tohoto reflexu je asi 80 dB. Reakcia svalov je veľmi rýchla a aj pri jednostrannej stimulácii je bilaterálna. Ipsilaterálne má prah aj latencia menšiu hodnotu než kontralaterálne. U človeka je prahová hodnota pre kontrakciu m. stapedius nižšia než

pre m. tensor tympani. Tento protektívny mechanizmus však pri vyšších intenzitách zvuku podstatne zväčšuje skreslenie v periférnej časti sluchového analyzátora. [2, str. 588-589] Spevnená reťaz kostičiek oslabí viac prevod pre nízke frekvencie (hluk) než pre vysoké (ľudská reč), a pretože nízkofrekvenčné tóny maskujú vysokofrekvenčné, zlepši sa týmto zrozumiteľnosť reči. [10, str. 1006]

Sluchová trubica (tuba auditiva) má za normálnych podmienok a v pokoji kolabované steny. Otváranie trubice uľahčujú žuvacie pohyby alebo posúvanie sánky dopredu. Pri rýchlo vzniknutých zmenách atmosférického tlaku vznikajú u niektorých ľudí veľmi nepríjemné bolestivé vnemy spôsobené napínaním bubienka. Otvorením sluchovej trubice sa tlakové rozdiely medzi dutinou stredného ucha a nosohltanom vyrovnávajú. Zvýšené napätie bubienka pri trvajúcej nepriechodnosti sluchovej trubice môže spôsobiť vážne poruchy sluchu. Pri trvalo otvorenej trubici sa sluchová ostrosť znižuje a pociťovanie vlastnej reči zvyšuje.

IV.C Funkcie blanitého slimáka

Iónové zloženie vnútrošných tekutín sa líši (endolymfa: 140-160 mekv K/l, 12-16 mekv Na/l; perilymfa: 130-150 mekv Na/l, 4-5 mekv K/l). Endolymfa ako jediná mimobunková telová tekutina sa teda podobá intracelulárnej tekutine. Analogicky by sa dalo predpokladať, že endokochleárny potenciál bude mať negatívne znamienko (podobne ako membránový potenciál registrovaný vnútri bunky), no za normálnych podmienok je endokochleárny potenciál pozitívny (u cicavcov asi +80mV, u ostatných stavovcov je jeho hodnota nižšia) a skladá sa z dvoch zložiek.

Pozitívnu zložku endokochleárneho potenciálu (asi 100mV) vytvára elektrogénny transport K^+ v stria vascularis. Tento mechanizmus udržiava aj vysokú koncentráciu draslíkových iónov v endolymfe. Negatívna zložka endokochleárneho potenciálu (asi -20mV) je s najväčšou pravdepodobnosťou difúznym potenciálom K^+ , ktorý závisí najmä od koncentračného gradientu sodíkových a draslíkových iónov medzi endolymfou a perilymfou. Za fyziologických podmienok je negatívna zložka prekrytá pozitívnou zložkou (+100mV - 20mV = +80mV) a zjavne sa stáva pri anoxii, resp. po podaní niektorých metabolických inhibítorov.

Akustické vibrácie fenestra vestibuli (seu ovalis) sa prenášajú na tekutiny vnútorného ucha. Tlakové zmeny sa pri nestlačiteľnosti kvapalín vyrovnávajú na membráne fenestra cochleae (seu rotunda). Oblok však kmitá v protiváhe k pohybu strmienka. Pri subakustickom kmitaní sa zvukové vlny vyrovnávajú okolo lamina basilaris slimákového kanála cez helikotrému bez toho, aby sa lamina pohybovala. V rozsahu počuteľného zvuku sa tlaky takto vyrovnat' nestačia a lamina basilaris sa rozkmitá. Pri vyšších frekvenciách lamina kmitá v blízkosti strmienka a pri nižších v blízkosti helikotrémy (tonopia). Tomu napomáhajú aj anatomické vlastnosti lamina basilaris, ktorá je v blízkosti strmienka tenšia (asi 0,05mm) a pri helikotréme hrubšia (asi 0,5mm). Možno konštatovať, že pri určitej frekvencii sa rozkmitá určité miesto membrány, pričom pri vyšších frekvenciách sa rozkmitá membrána bližšie pri strmienku než pri nižších frekvenciách, čiže až v slimáku nastáva základná frekvenčná analýza.

Kmitajúca kochleárna lamina basilaris sa správa ako systém kmitajúcich membrán. Pri vychýlení laminy sa retikulárna (membrana reticularis) a krycia blana (membrana tectoria) posúvajú proti sebe, pri vykľnutí lamina basilaris do scala vestibuli sa krycia blana posúva k retikulárnej smerom od modiolu a pri vykľnutí do scala tympani opačne smerom k modiolu. Medzi retikulárnou a tektoriálnou blanou sú zmyslové vlásokové bunky. Vychýlenie lamina basilaris a vzájomný pohyb blán spôsobujú ohnutie týchto buniek a nastáva ich depolarizácia alebo pri opačnom posune hyperpolarizácia.

Veľkosť odchýlky lamina basilaris slimáka závisí od intenzity zvuku, ale aj od frekvencie, a teda aj od lokalizácie pôsobenia tlakových kmitov v slimáku. Vyššími frekvenciami sa vyvolávajú väčšie odchýlky, pričom sa však rozkmitá užšia oblasť laminy. Jednotlivé odchýlky nepresahujú hodnotu 0,1nm. Pri maximálnych vibráciách vznikajú víry, ktoré viac pôsobia na príslušné miesto lamina basilaris. So zvyšujúcou sa intenzitou zvuku sa zvyšujú exkurzie na exponovaných miestach laminy a rozlišovacia schopnosť sa zhoršuje.

Rozkmitaním tekutiny vnútorného ucha a lamina basilaris zvukovými vlnami cez strmienok sa na kochleárnej lamine vytvára postupujúca vlna, ktorá prechádza po lamina basilaris a maximum dosahuje na charakteristickom mieste. Postupujúca vlna sa šíri jednosmerne, a to od bázy k apexu. Rýchlosť jej pohybu je najväčšia pri strmienku na začiatku slimáka, kde dosahuje $1600 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, vo vzdialenosti 20 mm sa znižuje na $150 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a v apikálnej časti je menšia než $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Následkom zmeny

rýchlosti sa menia vlnové dĺžky kmitov vo vnútornom uchu, postupujúca vlna sa pri rôznych frekvenciách dostane do rôznej vzdialenosti od strmienka a tu maximálne rozkmitá lamina basilaris. Na určitom mieste lamina basilaris pri danej frekvencii teda vibrácie dosahujú maximálnu amplitúdu.

Na miestach maximálnych exkurzií kochleárnej lamina basilaris sa vonkajšie vláskové bunky dráždia ohybom ich stereocílií vnorených do membrana tectoria. Pri vibráciách lamina basilaris sa pri jej pohybe smerom nahor proti scala vestibuli depolarizuje membrána vláskovej bunky, kým pri pohybe opačným smerom sa hyperpolarizuje. Vnútorne vláskové bunky sa pravdepodobne aktivujú pohybom lymfy.

Zmeny polarizácie bunkovej membrány zmyslových buniek vyvolané pohybom ich cílií spôsobujú vznik receptorových potenciálov. Pri dostatočnej amplitúde receptorového potenciálu vzniká v receptorovej synapse akčný nervový potenciál, ten je vedený výbežkami bipolárnych buniek ganglion spirale umiestneného vnútri kosteného vretienka. [2, str. 589- 590] Bipolárne bunky ganglion spirale sú prvými neurónmi 4-neurónovej sluchovej dráhy, ktorá končí v lobus temporalis-gyrus temporalis transversus Heschli, Brodmannova area 41, 42.

IV.D Mechanizmus dráždenia statolitového systému

Zmenou polohy hlavy vzhľadom na gravitáciu sa deformujú cíliá vláskových buniek ponorené do otolitovej membrány, ktorá sa pri tom posunie. Tak sa vlásková bunka podráždi, vznikne receptorový potenciál a aktiváciou cez synapsu sa podráždi nervová bunka.

Sacculus sa dráždi pri laterálnom úklone hlavy. Ak sa hlava nakloní k ramenu, otolitová membrána sakula tej istej strany visí nadol a ťahá za sebou škvrtu, ktorá sa maximálne podráždi. Otolitová membrána druhej strany smeruje nahor, opiera sa o makulu a nervové zakončenia sa teda dráždia menej. Pri predklone a záklone sa podobne dráždia škvrtky v utrikule. Po vzpriamení hlavy smeruje otolitová membrána v utrikuloch nahor a nervové zakončenia sa v tejto polohe dráždia menej. Pri predklone alebo záklone hlavy visia klenby s otolitovými membránami nadol, ťahajú makuly a maximálne ich dráždia. Makulárne receptory reagujú na lineárne a teda aj na gravitačné zrýchlenie.

Aj pri vzpriamenej polohe hlavy možno v príslušných vetvách vestibulárneho nervu alebo v jeho terminálnom jadre v predĺženej mieche registrovať činnostné potenciály. Ich pokojová frekvencia sa zvyšuje už pri odklonení hlavy o $2,5^\circ$ a so zvyšujúcim sa odklonom hlavy frekvencia progresívne rastie. Frekvencia akčných potenciálov hlavného typu makulárnych neurónov sa pri stimulácii exponenciálne zvyšuje, no závisí aj od smeru odchýlky a v podstate sa neadaptuje. Existujú však aj také typy neurónov, ktoré, naopak reagujú fázovo (adaptujú sa rýchlo), a to pri zmene polohy v ktoromkoľvek smere, čiže bez smerovej citlivosti.

Podobne je to aj pri reakciách neurónov vo vestibulárnych jadrách. Väčšina neurónov reaguje tonicky na pohyb v určitej ose, no nie však v smere na ňu kolmom. Iné typy reagujú fázovo, excitáciou alebo útlmom pri akomkoľvek smere lineárneho zrýchlenia.

Makulárne receptory, najmä sakulárne, reagujú nielen na gravitáciu, ale aj na mechanické vibrácie, najmä s nízkymi frekvenciami. Tak sa spolu s kochleárnym receptorom zúčastňujú na vnímaní hlbokých nízkofrekvenčných zvukov. [2, str. 596]

IV.E Mechanizmus dráždenia crista ampullaris

Receptory semicirkulárnych kanálikov reagujú na uhlové zrýchlenie. Pre každú ampulárnu hranu je teda adekvátnym podnetom zmena rýchlosti rotácie v rovine jej kanálika. Pri tejto zmene nastáva relatívny posun endolymfy proti stene kanálika, ktorý spôsobuje ohnutie klenby príslušným smerom (klenba v podstate kanálik uzatvára).

V horizontálnom kanáliku utrikulopetálne prúdenie endolymfy dráždi receptory, a utrikulofugálne prúdenie pôsobí na ne tlmivo. Vo zvyšných dvoch pároch vertikálnych kanálikov je to opačne- utrikulopetálny pohyb endolymfy receptory tlmí a utrikulofugálny ich dráždi. Táto smerová citlivosť súvisí s usporiadaním cilií vláskových buniek. Napríklad v horizontálnych kanálikoch sú zväzky ich cilií orientované tak, že kinocílium je vždy situované na hrane bližšie k utrikulu, a vo vertikálnych kanálikoch na opačnej strane.

Vzhľadom na to, že semicirkulárne kanáliky sú umiestnené v troch rovinách na seba kolmých, musia sa po ktoromkoľvek pohybe hlavy podráždiť receptory aspoň

jednej ampulárnej hrany, vo väčšine prípadov sa však podráždi väčší počet citlivých zakončení, a tak vzniká komplexný vnem.

Pri dlhotrvajúcom pohybe hlavy sa endolymfa unáša rovnakou rýchlosťou ako stena kanálikov, klenba hrany sa vzpriamuje a intenzita dráždenia sa znižuje. Ak sa pohyb hlavy zastaví, pohyb endolymfy zotrvačnosťou pokračuje a klenba hrany sa vychýľuje opačným smerom. Znovu sa teda dráždia nervové zakončenia a mení sa frekvencia činnostných potenciálov vo vestibulárnej časti VIII. hlavového nervu.

Rôzny stupeň dráždenia v troch pároch kanálikov umožňuje pocitovú rekonštrukciu osy rotácie a uhlového zrýchlenia, ktorú CNS uskutočňuje automaticky. Človek si teda neuvedomuje dráždenie jednotlivých receptorov, ale konečný efekt, čiže príslušný komplexný vnem. [2, str. 596]

V. Literárny prehľad

Hneď na začiatku musím konštatovať, že literatúru zaoberajúcu sa čisto len uchom (z evolučného, anatomického a fyziologického hľadiska) sa mi nepodarilo nájsť. Čo sa týka fylogény, ucho a jeho premeny sú spomínané úsekovite vždy pár riadkami v jednotlivých živočíšnych skupinách, takže je nutné pracovať s viacerými zdrojmi súčasne a žiadané informácie je treba hľadať. Snažila som sa citovať čo najnovšie publikácie, a prekvapujúco dve z nich (4, 5) som našla zverejnené na internete. Veľmi rozsiahla je i "Historie obratlovců" (1), o uchu sa zmieňuje, ale nijak zvlášť sa mu nevenuje. Anatómia a fyziológia ľudskeho ucha sú dôkladne rozobraté vo všetkých doporučovaných knihách pre študentov medicíny- stačí si len vybrať; informácie v nich sa nijak zásadne nelíšia, najmä ak má čitateľ prístup k tým novším vydaniam.

VI. Záver

Sluchovorovnovážny orgán prešiel komplikovaným vývojom od jednoduchej statocysty až k orgánu zloženému z mnohých štruktúr, pričom niektoré z nich sú mimoriadne citlivé na poškodenie, a pritom organizmus nemá možnosť tento senzor vypnúť (oči človek zatvorí kedykoľvek) a tak ho chrániť. Ochranné reflexné kontrakcie stredoušných svalov sú podmienené veľmi silnými podnetmi a pôsobia len krátkodobo.

Hlukom nazývame každý zvuk, ktorý má rušivý alebo obťažujúci charakter, alebo ktorý má škodlivé účinky, bez ohľadu na jeho intenzitu, ktorá v mnohých prípadoch nehrá hlavnú úlohu. Škodlivé účinky nevidíme len v priamom poškodení zdravia akým je poškodenie sluchu z hluku, ale i v ďalších nepríjemných a závažných príznakoch akými sú napr. ušné šelesty a vzostup krvného tlaku, ďalej v trvalých funkčných zmenách, zmenách pracovnej výkonnosti, v miere únavy po pracovnej smene, v hĺbke spánku. Okrem toho si musíme uvedomiť, že vo vnímaní zvuku ako hluku existujú veľké interindividuálne rozdiely. Je známe, že rovnaký podnet môže na niekoho pôsobiť negatívne a na iného naopak pozitívne až stimulujúco, napr. určitý druh hudby. Dôležitý je i vzťah exponovaného človeka k danému hluku, či sa jedná o dobrovoľnú alebo nedobrovoľnú expozíciu. Napriek tomu, že hluk vymedzujeme fyzikálne, musíme vždy uvažovať primárnu platnosť psychofyziologicalkých kritérií. Doposiaľ žiadny spôsob merania nie je schopný postihnúť informačný obsah zvuku ako významný faktor rušivosti. Je známe, že napríklad hovor ruší väčšinu ľudí podstatne viac než indiferentný zvuk, ktorý naopak môže pôsobiť ako maskovací pre zvuky s rušiacou informáciou. Pri posudzovaní rušivosti hluku musíme postupovať komplexne a nie len mechanicky aplikovať výsledky merania, ktoré niektoré vyššie uvedené aspekty nie je schopné postihnúť.

Biologické účinky

Pre účinky zvuku na človeka je rozhodujúce ako je obdržaná akustická informácia spracovaná príjemcom. Biologicky účinnejšie sú zvuky silnejšie,

prerušované, s tónovými zložkami, s impulzami alebo rázmi, než zvuky tiché a ustálené.

Z hľadiska intenzity sú hluky nad 30 dB nebezpečné pre nervový systém a psychiku, nad 60-65 dB pre vegetatívny systém, nad 90 dB pre sluchový orgán a nad 120 dB môžu poškodovať bunky a tkanivá.

Vlastné poškodenie sluchu nadmerným hlukom má príčinu v nenávratnej strate vlásokových buniek Cortiho orgánu, ktoré pri dlhodobom a opakovanom pôsobení alebo pri preťažení zvukovou stimuláciou strácajú svoju vzrušivosť a zanikajú (chronická akustická trauma)- toto poškodenie označujeme ako profesionálnu nedoslýchavosť. Akútne poškodenie hlukom prebieha buď pod obrazom poškodenia výbuchom (doba trvania až stovky ms), alebo treskom (doba trvania do 2 ms). Výbuch poškodzuje bubienok, sluchové kostičky a vnútorné ucho; tresk postihuje vlásokové bunky Cortiho orgánu, bazálnu, Reisnerovu i tektonickú membránu.

Hluk, i keď je primárne vnímaný sluchovým aparátom, má i systémové účinky. Pri hodnotách 70-90 dB sa mení krvný tlak, prekrvenie kože, tepová frekvencia a vegetatívna rovnováha sa posúva smerom k sympatiku. Dochádza k vzostupu hladiny cukru v krvi, ale i k zmenám hladín inzulínu, lipoproteínov, elektrolytov. Hluk ovplyvňuje i výkonnosť- u jednoduchých monotónnych činností a u osôb s podpriemerným pracovným tempom, môže mať dokonca pozitívny vplyv. Negatívne účinky nachádzame u zložitejších činností. [11, str. 106- 108]

VII. Súhrn

"Ucho" je zmyslový orgán zložený z vlastného sluchového aparátu- Cortiho orgánu, ktorý je usposobený na vnímanie zvuku, a z vestibulárneho aparátu vnímajúceho polohu a pohyb. Evolučne starší je predchodca vestibulárneho aparátu; primitívne statocysty sa objavujú už u jednoduchých mnohobunkových živočíchov, napríklad u medúz. Schopnosť vnímať vibrácie vzduchu, a teda istým spôsobom "počut" sa prvý raz objavuje u článkonožcov, konkrétne u pavúkov. Postupne sa oba orgány- sluchový i rovnovážny, vyvinuli vo veľmi komplikovanú štruktúru: statocystu nahradili utriculus, sacculus a tri polokruhovitú kanáliky (kanálik je len jeden u sliznatiek, dva sú u mihúľ, a u žralokov sú už tri, ale utriculus a sacculus sú zatiaľ len naznačené), a lagena a postranná zmyslová línia (ekvivalent lageny u primárne vodných stavovcov- ryby a larvy obojživelníkov) sú predchodcami blanitého slimáka ako ho poznáme u človeka. S ústupom týchto orgánov intrakraniálne sa premenou branchiálnych oblúkov vytvorili štruktúry stredoušia- najskôr to bola len jedna kostička collumela, a u cicavcov až tri sluchové kostičky: kladivko, nákovka a strmienok. U vtákov a cicavcov je vyvinutý i vonkajší zvukovod, u cicavcov začínajúci ušnicou.

VIII. Summary

The ear is a sense organ that consists of the hearing organ itself- called the organ of Corti, detecting sound, and of the vestibular organ- detecting balance and movement. The precursor of the vestibular organ, simple statocyst, appears for the first time in jellyfish. The ability to perceive vibrations of the air, and hence "to hear", appears first in spiders. Both the vestibular and the hearing organ, have developed into a very complicated structure: the statocyst is replaced by utricle and saccule, and by three semicircular ducts (there's only one duct in hagfish, two are in lampreys, and sharks have three ducts, but with utricle and saccule only indicated); the lagena and the lateral sensory line (equal to the lagena in primarily aquatic chordate-fish and amphibian larves) are the precursors to cochlea the way we know it in human. With the displacement of these organs intracranially, the middle ear structures were formed from the branchial arches- first it was just one simple ossicle- the columella, but mammals have three auditory ossicles: the hammer, the anvil and the stirrup. Mammals and birds also developed an outer ear canal, beginning with the pinna in mammals.

IX. Použité zdroje, literatúra

- [1] ROČEK, Z. Historie obratlovců. Praha: Academia, 2002
- [2] TROJAN, S. Fyziológia 2. Martin: Vydavateľstvo Osveta, 1992
- [3] ČIHÁK, R. Anatomie 3. Praha: Grada Publishing, 1997
- [4] FRANČ, V. Systém a fylogeneza živočíchov- Bezchordáty. [on-line]. Banská Bystrica. Katedra biológie Fakulty prírodných vied, Univerzita Mateja Bela, Banská Bystrica. 2005 [cit. 10.12.2006]. Dostupné z <http://www.fpv.umb.sk/kat/kb/text/knihy/Skripta/Scr.pdf>
- [5] HAJER, J. Fylogeneze a systém strunatců. [on-line]. Ústí nad Labem. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Přírodovědecká fakulta. 2006 [cit. 5.1.2007]. Dostupné z http://biology.ujep.cz/vyuka/file.php/1/opory/Fylogeneze_a_system_strunatcu.pdf
- [6] <http://www.culture.gov.sk/slovník/lo.html#mm>
- [7] Animal echolocation. Wikipedia, The Free Encyclopedia. [cit. 14.7.2007]. Dostupné z http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Animal_echolocation&oldid=152406269
- [8] Elephant. Wikipedia, The Free Encyclopedia. [cit. 15.7.2007]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Elephant&oldid=152208199>
- [9] Earlobe. Wikipedia, The Free Encyclopedia. [cit. 15.7.2007]. Dostupné z <http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Earlobe&oldid=152983523>
- [10] HULÍN, I. Patofyziológia. Bratislava: Slovak Academic Press, 1998, str. 1006
- [11] BENCKO, V. Hygiena, Učební text k seminářům a praktickým cvičením. Praha: Karolinum. 1998
- [12] Kladivko (ucho). Wikipédia, Slobodná encyklopédia. [cit. 15.7.2007]. Dostupné z http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Kladivko_%28ucho%29&oldid=688864.

[13] Nákovka. Wikipédia, Slobodná encyklopédia. [cit. 14.7.2007]. Dostupné z

<http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=N%C3%A1kovka&oldid=1036457>.

[14] Strmienok. Wikipédia, Slobodná encyklopédia. [cit. 15.7.2007]. Dostupné z

<http://sk.wikipedia.org/w/index.php?title=Strmienok&oldid=1031932>

X. Zoznam príloh

1. Stručný slovník použitých výrazov česko-slovenský
2. Stručný slovník použitých výrazov slovensko-český
3. Fylogenetický prehľad

XI. Přílohy

Příloha č.1: Stručný slovník použitých výrazov česko- slovenský

boltec- ušnica
čočkovitý- šošovkovitý
hlemýžď- slimák
kterýkoliv- akýkoľvek
ledvinovitý- obličkovitý
lymfatický- miazgový
nedoslýchavost- hluchota
mělký- plytký
mícha- miecha
nejdřív- najskôr
odtud- odtiaľ
okno- oblok
opřádat- ovíjať
páteř- chrbtica
podélny- pozdĺžny
polykání- prehĺtanie
poslouchat- počúvať
provazec- povrazec
ret- pera
rejnok- raja
řasinkový- obrvený
sklípek- alveolus
slyšet- počuť

šalvěj přeslenitá- šalvia praslenitá (salvia verticillata)
trychtýř- lievik
třenový (zub)- črenový (zub)
třesk- tresk
třmínek- strmienok
ucho Jidášovo, boltcovitka bezová- ucho Judášovo, uchovec bazový
uvnitř- vnútri
uzavřený- uzatvorený
váček- vačok
vnitřní- vnútorný
vkleslina- prehlbina, preliačina
vliv- vplyv
vyklenovat- nakláňat', vykláňat'
vypouklý- vyklenutý
vůči- proti, oproti
vyzdvižený-vy zdvihnutý
zatím- doposiaľ
zevní- vonkajší
zevně- smerom von
zpoždění- oneskorenie
zvenčí- smerom zvon
žábry- žiabre
žvíkání- žuvanie

Príloha č.2: Stručný slovník použitých výrazov slovensko- český

akýkol'vek- kterýkoliv
črenový (zub)- třenový (zub)
doposiaľ- zatím
chrbtica- páteř
lievik- trychtýř
miazgový- lymfatický odtok

miecha- mícha
najskôr- nejdřív
obličkovitý- ledvinovitý
oblok- okno
obrvený- řasinkový
odtiaľ- odtud
oneskorenie- zpoždění
plytký- mělký
pera- ret
početný- četný
počut' - slyšet
počúvať- poslouchat
pošva- pochva
povrazec- provazec
pozdĺžny- podélny
prehĺtanie- polykání
proti- vůči
pupeň (umbo)- vypuklina
raja- rejnok
rebríčkový- (nervová sústava)
slimák- hlemýžď
strmienok- třmínek
šalvia praslenitá- šalvěj přeslenitá (salvia verticillata)
šošovkovitý- čočkovitý
teda- tudíž
ucho Judášovo, uchovec bazový- ucho Jidášovo, boltcovitka bezová
ušnica- boltec
uzatvorený- uzavřený
vačok- váček
vnútorný- vnitřní
vnútri- uvnitř
vonkajší- zevný
vplyv- vliv
zvonku- zvenčí

žiabre- žábry
žliabok- žlábek
žuvanie- žvýkání

Príloha č.3: Fylogenetický prehľad

I. Ríša Prvoky, Prvoci (Protozoa)

II. Ríša Jednoduché mnohobunkové organizmy

1. Kmeň Huby, Huby (Fungi)

2. Kmeň Pŕhlivce, Źahavci (Cnidaria)

Trieda medúzovce, medúzovci (Scyphozoa)

Trieda polypovce, polypovci (Hydrozoa)

Trieda koraly, korálnatci (Anthozoa)

Trieda výtrusníky, výtrusenky (Myxozoa)

Trieda štvorhranky, čtyřhranky (Cubomedusae)

3. Kmeň Okrúhlovce, Hlísti (Nemathelminthes, Cycloneuralia)

Trieda vírniky, vířnici (Rotatoria)

Trieda hlístovce, hlístice (Nematoda)

4. Kmeň Ploskavce, Ploštěnci (Plathelminthes)

Trieda ploskule, ploštěnky (Turbellaria)

Trieda motolice, motolice (Trematodes)

Trieda pásomnice, tasemnice (Cestodes)

III. Živočíchy s coelomom

1. Kmeň Mäkkýše, Měkkýši (Mollusca)

Trieda ulitníky, plži (Gastropoda)

Trieda lastúrníky, mlži (Bivalvia)

Trieda hlavonožce, hlavonožci (Cephalopoda)

2. Kmeň Obrúčkavce, Kroužkovci (Annelida)

Trieda mnohoštetinavce, mnohoštětinatci (Polychaeta)

Trieda máloštetinavce, máloštětinatci (Oligochaeta)

Trieda pijavice, pijavice (Hirudinea)

3. Kmeň Ostnokožce, Ostnokožci (Echinodermata)

Trieda hviezdovky, hvězdice (Asteroidea)

Trieda ježovky, ježovky (Echinoidea)

Trieda holotúrie, sumýši (Holothuroidea)

Trieda hadovice, hadice (Ophiuroidea)

IV. Článkonožce, Členovci (Arthropoda)

1. Podkmeň Trojlaločnatci, Trilobiti (Trilobitae, Trilobitomorpha)

2. Podkmeň Klepietkavce, Klepítkatci (Chelicerata)

Trieda hrotnáče, hrotnatci (Merostomata)

Trieda pavúkovce, pavoukovci (Arachnoidea, Arachnida)

Trieda nohatky, nohatky (Pantopoda, Pycnogonida)

3. Podkmeň Kôrovce, Žabernatí (Crustacea), aka Žiabrovce (Branchiata)

4. Podkmeň Vzdušnicovce, Vzdušnicovci (Tracheata)

NadTrieda Šesťnožce, Šestinozí (Hexapoda), hmyz (Insecta)

V. Chordáty (Strunovce), Strunatci (Chordata)

1. Plášťovce, Pláštěnci (Urochordata, Tunicata)

2. Bezčrepovce (Kopijovce), Bezlebeční (Cephalochordata, Acrania)

3. Stavovce, Obratlovci (Craniata, Vertebrata)

Bezčel'ustnatce (Kruhoústnice), Bezčelistnatce (Agnatha, Cyclostomata)

Mihule, Mihule (Cephalaspidomorphi, Petromyzontida)

Sliznatky, Sliznatky (Myxini)

Čel'ustnatce, Čelistnatce (Gnathostomata)

Drsnokožce (Chrupkovité ryby), Paryby (Chondrichthyes)

Ryby (Kostnaté ryby), Ryby (Osteichthyes)

Obojživelníky, Obojživelníci (Amphibia)

Plazy, Plazy (Reptilia)

Vtáky, Ptáci (Aves)

Cicavce, Savci (Mammaliaformes)