

Zuzana Kabátová, Milan Profant a kolektív

---

# Audiológia

---





Zuzana Kabátová, Milan Profant a kolektív

---

# Audiológia

---

**Upozornenie pre čitateľov a používateľov tejto knihy**

Všetky práva vyhradené. Žiadna časť tejto tlačenej či elektronickej knihy nesmie byť reprodukováná a šírená v papierovej, elektronickej či inej podobe bez predchádzajúceho písomného súhlasu nakladateľa. Neoprávnené použitie tejto knihy bude **tretné stíhané**.

**Doc. MUDr. Zuzana Kabátová, CSc., prof. MUDr. Milan Profant, CSc., a kolektív**

## AUDIOLÓGIA

### Spoluautori:

Doc. MUDr. Pavel Doležal, CSc., mim. prof., MUDr. Milan Jäger, MUDr. Zuzana Pospíšilová, MUDr. Oliver Profant, Ing. Kamil Seginko, MUDr. Štefan Šimko, CSc., PaedDr. Ludovíka Šimková, RNDr. MUDr. Lukáš Varga

### Recenzenti:

Prof. MUDr. Janka Jakubíková, CSc.  
Prof. MUDr. Juraj Kovaľ, CSc.

---

### TITÁŽ TIŠTĚNÉ PUBLIKACE:

Vydanie odbornej knihy schválila Vedecká redakcia nakladateľstva Grada Publishing, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2012

Cover Photo © allphoto, 2012

Vydala Grada Slovakia, spol. s r. o.

Moskovská 29, Bratislava

ISBN 978-80-8090-003-8

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

ISBN 978-80-247-4173-4

ako svoju 4835. publikáciu

Zodpovedná redaktorka Mgr. Miroslava Kováčiková

Sadzba a zalomenie Josef Lutka

Ilustrovali Mgr. Peter Kabát a Mgr. art. Petra Bartošová

Počet strán 360

1. vydanie, Bratislava, Praha 2012

**Práca je podporená grantmi APVV-0148-10, VEGA 1/0465/11.**

**Autori a nakladateľstvo ďakujú spoločnostiam Audionika, s.r.o., Audiofon s.r.o., Bio-Chrom, s.r.o., Cochlear AG, DISPOMED s.r.o., Hansaton Slovakia, spol. s r.o., MED-EL Medical Electronics a Prvá stavebná sporiteľňa, a.s. za podporu, ktorá umožnila vydanie publikácie.**

Vytlačila tlačiareň FINIDR s.r.o., Český Těšín

**Bio-Chrom**<sup>®</sup>  
zdravotnícky a laboratórny materiál

  
**PRVÁ STAVEBNÁ  
SPORITEĽŇA**

Názvy produktov, firiem a pod., použité v tejto knihe, môžu byť ochrannými známkami alebo registrovanými ochrannými známkami príslušných vlastníkov, čo však nie je zvláštnym spôsobom vyznačené.

Postupy a príklady v knihe, rovnako aj informácie o liekoch, ich formách, dávkovaní a aplikácii sú zostavené s najlepším vedomím autorov. Z ich praktického uplatnenia nevyplývajú pre autorov ani pre nakladateľstvo žiadne právne dôsledky.

---

### ELEKTRONICKÉ PUBLIKACE:

ISBN 978-80-247-7888-4 (pro formát PDF)

ISBN 978-80-247-7889-1 (pro formát EPUB)

# Obsah

<b>Zoznam autorov</b> .....	<b>10</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Anatomia a fyziológia sluchového orgánu</b> .....	<b>13</b>
1.1 Vonkajšie ucho (auris externa) .....	13
1.2 Stredné ucho (auris media) .....	14
1.3 Vnútorne ucho (auris interna) .....	18
1.3.1 Fyziológia počutia .....	22
1.4 Sluchový nerv .....	25
1.5 Aferentná sluchová dráha .....	27
1.5.1 Binaurálne počutie .....	32
1.6 Eferentná (zostupná) sluchová dráha .....	34
1.7 Sluchová kôra (AC) .....	36
1.8 Neurotransmitery sluchovej dráhy .....	40
1.9 Spracovanie reči .....	41
Literatúra .....	43
<b>2 Základy akustiky pre potreby audiológie</b> .....	<b>49</b>
2.1 Druhy zvukov .....	49
2.1.1 Čistý tón a jeho charakteristiky .....	49
2.1.2 Zložený tón .....	50
2.1.3 Modulovaný tón .....	50
2.1.4 Šum .....	51
2.2 Hlasitosť a intenzita zvuku .....	52
2.3 Akustická impedancia .....	54
2.4 Významné fyzikálne aspekty akustiky .....	55
Literatúra .....	60
<b>3 Klasická skúška sluchu</b> .....	<b>61</b>
3.1 Vyšetrenie sluchu šepotom a hlasitou rečou .....	61
3.2 Vyšetrenie sluchu ladičkami .....	62
3.2.1 Weberova skúška .....	62
3.2.2 Rinného skúška .....	62
3.2.3 Schwabachova skúška .....	63
3.2.4 Gellého skúška .....	64
Literatúra .....	65
<b>4 Tónová audiometria</b> .....	<b>67</b>
4.1 Prahová tónová audiometria .....	67
4.1.1 Audiometer .....	67
4.1.2 Tichá komora .....	68
4.1.3 Audiometrický záznam – audiogram .....	69
4.1.4 Postup vyšetrenia .....	70

4.1.5	Všeobecné zásady maskovania nevyšetrovaného ucha .....	70
4.1.6	Príklady vyšetrenia .....	72
4.1.7	Rozdelenie porúch sluchu podľa prahového tónového audiogramu .....	82
4.1.8	Najčastejšie chyby pri vyšetrení prahovou tónovou audiometriou .....	83
4.2	Vysokofrekvenčná audiometria .....	84
4.3	Nadprahová audiometria .....	87
4.3.1	Recruitment fenomén .....	87
4.3.2	Skúšky na dôkaz recruitment fenoménu .....	88
4.4	Špeciálne audiometrické skúšky .....	91
4.4.1	Fowlerova skúška (ABLB test – Alternate Binaural Loudness Balance) .....	92
4.4.2	SAL test (Sensorineural Acuity Level) .....	93
4.4.3	Gellého skúška .....	94
4.4.4	Carhartova skúška .....	95
4.4.5	Lombardova skúška .....	95
4.4.6	Kalibrovaná Weberova skúška .....	96
4.4.7	Vyhlášky .....	97
	Literatúra .....	98
<b>5</b>	<b>Rečová audiometria .....</b>	<b>99</b>
5.1	Rečová audiometria .....	99
5.1.1	Slovná audiometria pre dospelých .....	99
5.1.2	Slovná audiometria pre deti .....	101
5.1.3	Test jednoslabičných slov .....	102
5.2	Testy minimálnych sluchových schopností pre dospelých .....	108
5.3	Testy na hodnotenie sluchových schopností malých detí .....	109
	Literatúra .....	110
<b>6</b>	<b>Vyšetrenie vo voľnom zvukovom poli .....</b>	<b>111</b>
6.1.1	Indikácie na vyšetrenie .....	112
<b>7</b>	<b>Behaviorálne vyšetrenie sluchu u detí .....</b>	<b>115</b>
7.1	Vyšetrenie sluchu šepotom a hlasitou rečou .....	115
7.2	Behaviorálna audiometria .....	116
7.3	Audiometria hrou .....	116
7.4	Audiometria so zrakovým posilnením (Visual Reinforcement Audiometry, VRA) .....	117
	Literatúra .....	118
<b>8</b>	<b>Impedančná audiometria .....</b>	<b>119</b>
8.1	Vývoj tympanometrie .....	119
8.2	Princíp tympanometrie .....	120
8.3	Tympanogram .....	122
8.4	Vyšetrenie reflexu strmienkového svalu .....	128

8.5	Reflex decay, decay test (vyhasínanie reflexu, adaptácia reflexu) . . . . .	133
8.6	Vyšetrenie funkcie sluchovej trubice . . . . .	135
8.6.1	Testy na vyšetrenie sluchovej trubice pri celistvej blanke bubienka . . . . .	136
8.6.2	Testy na vyšetrenie sluchovej trubice pri perforovanej blanke bubienka . . . . .	137
	Literatúra . . . . .	139
<b>9</b>	<b>Otoakustické emisie . . . . .</b>	<b>141</b>
9.1	Spontánne otoakustické emisie (SOAE) . . . . .	142
9.2	Evokované otoakustické emisie (EOAE) . . . . .	142
9.2.1	Tranzientné evokované otoakustické emisie (TEOAE) . . . . .	143
9.2.2	DPOAE – produkt skreslenia . . . . .	147
9.2.3	SFOAE (stimulus-frequency otoacoustic emissions) . . . . .	149
9.2.4	Klinické využitie otoakustických emisií . . . . .	149
	Literatúra . . . . .	150
<b>10</b>	<b>Sluchové evokované potenciály . . . . .</b>	<b>153</b>
10.1	Elektrokochleografia (ECochG) . . . . .	153
10.1.1	Klinické využitie . . . . .	154
10.1.2	Postup vyšetrenia . . . . .	154
10.1.3	Hodnotenie . . . . .	155
10.2	Zvukom evokované kmeňové potenciály (kmeňová audiometria) (ABR Auditory Brainstem Responses – BAEP Brain Auditory Evoked Potential – BERA Brainstem Evoked Responses Audiometry) . . . . .	155
10.2.1	Postup vyšetrenia . . . . .	156
10.2.2	Hodnotenie . . . . .	158
10.2.3	Normálne hodnoty . . . . .	159
10.2.4	Faktory, ktoré majú vplyv na výsledok BERA vyšetrenia . . . . .	159
10.2.5	Indikácie na BERA vyšetrenie . . . . .	161
10.3	Vyšetrenie stredne-latentných odpovedí (Auditory Middle Latency Responses – AMLR) . . . . .	164
10.3.1	Vyšetrenie ustálených evokovaných potenciálov (Steady-State Evoked Potential, SSEP, Auditory Steady-State Potential, ASSR) . . . . .	164
10.4	Neskoré zvukovo evokované potenciály (LAEP) . . . . .	171
	Literatúra . . . . .	173
<b>11</b>	<b>Audiologický skrining . . . . .</b>	<b>177</b>
11.1	Princípy skriningu sluchu . . . . .	177
11.2	Metódy na identifikovanie porúch sluchu u novorodencov . . . . .	179
11.2.1	Behaviorálne testy . . . . .	179
11.2.2	Objektívne testy . . . . .	180
11.3	Skrining sluchu u detí . . . . .	181

11.4	Skríning sluchu u dospelých a starých ľudí .....	182
Literatúra	.....	183
<b>12</b>	<b>Choroby ucha a poruchy sluchu</b> .....	<b>185</b>
12.1	Choroby vonkajšieho ucha .....	185
12.1.1	Atrézia vonkajšieho zvukovodu (atresia meatus acustici externi) .....	185
12.1.2	Ušný maz (cerumen) .....	185
12.1.3	Exostózy, osteómy vonkajšieho zvukovodu .....	186
12.2	Choroby stredného ucha .....	186
12.2.1	Malformácie stredného ucha .....	186
12.2.2	Zápaly stredného ucha .....	188
12.2.3	Nádory stredného ucha .....	193
12.2.4	Zlomeniny spánkovej kosti .....	193
12.3	Choroby vnútorného ucha .....	194
12.3.1	Otoskleróza .....	194
12.3.2	Senzorineurálne poruchy sluchu (SNHL) .....	196
12.3.3	Retrokochleárne poruchy .....	204
12.4	Audiologická diferenciálna diagnostika senzorineurálnych porúch sluchu .....	207
Literatúra	.....	209
<b>13</b>	<b>Tinnitus auris</b> .....	<b>211</b>
13.1	Objektívny tinitus .....	211
13.2	Subjektívny tinitus .....	211
13.3	Identifikácia tinitu .....	212
13.4	Maskovateľnosť tinitu .....	213
13.5	Reziduálna inhibícia .....	215
13.6	Terapeutické možnosti ovplyvnenia subjektívneho tinitu .....	218
Literatúra	.....	223
<b>14</b>	<b>Hluk a chronická akustická trauma</b> .....	<b>225</b>
14.1	Limitné hodnoty expozície a akčné hodnoty expozície hluku .....	225
14.2	Poškodenie sluchu hlukom .....	226
14.2.1	Carhartova skúška .....	226
14.3	Mimosluchové účinky hluku na organizmus .....	228
14.4	Profesionálne riziko expozície hluku .....	229
14.4.1	Posúdenie rizika .....	231
14.4.2	Odstránenie alebo zníženie rizika z expozície hluku .....	232
14.4.3	Osobné ochranné pracovné prostriedky pri práci v hluku .....	232
14.4.4	Riziková práca .....	237
14.5	Zdravotný dohľad .....	238
14.5.1	Vstupná prehliadka .....	238
14.5.2	Periodické preventívne lekárske prehliadky .....	239



14.5.3	Hodnotenie vývoja poruchy sluchu pri práci v hlučnom prostredí .....	244
14.5.4	Výstupná lekárska prehliadka .....	245
14.6	Profesionálna porucha sluchu (hypacusis perceptiva bilateralis profesionalis) .....	246
Literatúra	.....	247
<b>15</b>	<b>Audioprotetické pomôcky</b> .....	<b>249</b>
15.1	Načúvacie prístroje .....	249
15.1.1	Rozdelenie načúvacích prístrojov .....	249
15.1.2	Základné časti načúvacieho prístroja .....	255
15.1.3	Ušná koncovka .....	261
15.1.4	Kompenzačné doplnky k načúvacím prístrojom .....	263
15.1.5	Indikácia načúvacieho prístroja .....	264
15.1.6	Korekcia poruchy sluchu načúvacím prístrojom .....	265
15.1.7	Výber vhodného načúvacieho prístroja .....	266
15.1.8	Nastavenie načúvacieho prístroja .....	268
15.1.9	Správne používanie načúvacieho prístroja .....	271
15.1.10	Špecifiká výberu a nastavovania načúvacieho prístroja u detí .....	271
15.1.11	Význam práce audiometrickej sestry pre potreby audioprotetiky .....	272
Literatúra	.....	273
15.2	Implantovateľné načúvacie prístroje .....	273
15.2.1	Do kosti ukotvené načúvadlo BAHA (Bone Anchored Hearing Aid) .....	274
15.2.2	Aktívne stredoušné implantáty .....	279
Literatúra	.....	287
15.3	Kochleárna implantácia .....	288
15.3.1	Princíp kochleárnej implantácie .....	289
15.3.2	Typy kochleárných implantátov, typy elektród .....	291
15.3.3	Indikácie na kochleárnu implantáciu, výber kandidátov .....	292
15.3.4	Elektroakustická stimulácia .....	295
15.3.5	Implantácia do sluchovej časti mozgového kmeňa .....	296
15.3.6	Implantácia do sluchovej časti stredného mozgu .....	296
15.3.7	Kochleárna implantácia – chirurgický výkon .....	297
15.3.8	Nastavenie rečového procesora .....	298
15.3.9	Rehabilitácia pacientov s kochleárnym implantátom .....	300
15.3.10	Hodnotenie sluchových a rečových schopností u detí a dospelých s kochleárnym implantátom .....	301
Literatúra	.....	303
<b>16</b>	<b>Vyšetrenie vestibulárneho systému</b> .....	<b>307</b>
16.1	Anamnéza .....	307

16.2	Orientačné vyšetrenie vestibulárneho systému .....	308
16.2.1	Nystagmus .....	309
16.2.2	Vyšetrenia vestibulookulárneho reflexu (VOR) .....	313
16.2.3	Vyšetrenie vestibulospinálnych reflexov (VSR) .....	314
16.2.4	Vyšetrenie očných pohybov a stability pohľadu .....	316
16.3	Laboratórne vyšetrenia vestibulárneho systému – elektrofyzologické testy .....	317
16.3.1	Vyšetrenia VOR, zrakovovo-vestibulárnej interakcie okulomotorického a optokinetického systému .....	317
16.3.2	Vyšetrenia vestibulospinálnej interakcie .....	325
16.3.3	Vyšetrenia otolitového systému .....	327
	<b>Literatúra</b> .....	<b>331</b>
	<b>Zoznam skratiek</b> .....	<b>333</b>
	<b>Zoznam obrázkov</b> .....	<b>339</b>
	<b>Zoznam tabuliek</b> .....	<b>349</b>
	<b>Register</b> .....	<b>351</b>
	<b>Súhrn/Summary</b> .....	<b>360</b>

## Zoznam autorov

doc. MUDr. Pavel Doležal, CSc., mim. prof. – *Slovenská zdravotnícka univerzita, Univerzitná nemocnica Bratislava*

MUDr. Milan Jäger – *I. Otorinolaryngologická klinika Lekárskej fakulty Univerzity Komenského, Univerzitná nemocnica Bratislava*

doc. MUDr. Zuzana Kabátová, CSc. – *I. Otorinolaryngologická klinika Lekárskej fakulty Univerzity Komenského, Univerzitná nemocnica Bratislava*

MUDr. Zuzana Pospíšilová – *I. Otorinolaryngologická klinika Lekárskej fakulty Univerzity Komenského, Univerzitná nemocnica Bratislava*

prof. MUDr. Milan Profant, CSc. – *I. Otorinolaryngologická klinika Lekárskej fakulty Univerzity Komenského, Univerzitná nemocnica Bratislava*

MUDr. Oliver Profant – *Klinika ORL a chirurgie hlavy a krku I. LF UK a FN v Motole, Katedra IPVZ Praha, Ústav experimentálnej medicíny AV ČR, v.v.i., Oddelenie neurofyziológie sluchu, Praha*

Ing. Kamil Seginko – *I. Otorinolaryngologická klinika Lekárskej fakulty Univerzity Komenského, Univerzitná nemocnica Bratislava*

MUDr. Štefan Šimko, CSc. – *Foniatrické oddelenie, Univerzitná nemocnica Bratislava*

PaedDr. Ludovíka Šimková – *Logopedické oddelenie, Univerzitná nemocnica Bratislava*

RNDr. MUDr. Lukáš Varga – *I. Otorinolaryngologická klinika Lekárskej fakulty Univerzity Komenského, Univerzitná nemocnica Bratislava*

## Úvod

*Vedomosti sú dvojakého druhu.  
Buď samotnú problematiku ovládame,  
alebo vieme, kde nájdeme o nej informácie.  
Boswell, Life of Johnson, 18. apríla 1775*

To isté platí aj o audiológii. Len niektorí z nás podrobne poznajú všetky zákutia audiológie, ale väčšina sa denne stretáva s pacientmi s rôznymi chorobami sluchového orgánu, ktorí veria, že ich problém dôkladne vyšetríme a pomôžeme im. Táto učebnica audiológie je určená všetkým, ktorí prichádzajú do kontaktu so sluchovo postihnutými. Očakávame, že pomôže nielen otolaryngológom, audiometristkám, foniatrom ale aj logopédom a špeciálnym pedagógom zorientovať sa a vzdeláť sa v modernej klinickej audiológii. Prinášame vám ucelený zdroj informácií nielen o základných a najnovších vyšetrovacích metódach a postupoch, ale aj súčasný prehľad informácií z klinickej anatómie a fyziológie, genetiky, venujeme sa aj diagnostike porúch sluchu, tinitu, závratov. Jedna časť sa podrobne zaoberá aj manažmentom pracujúcich v hlučnom prostredí. Predposledná kapitola je venovaná súčasnej audioprotetike, aktívnym stredoušným implantátom, kochleárnej implantácii.

Veríme, že po preštudovaní tejto knihy mnohí zmenia svoje zaužívané stereotypy pri diagnostike a liečbe porúch sluchu a skvalitnia svoju odbornú prácu. Priali by sme si, aby táto kniha vyplnila medzeru v dostupnej študijnej literatúre, nakoľko doteraz prvá a posledná slovenská učebnica audiológie Praktická audiometria od Zdenka Bargára a Antona Kollára vyšla už pred dvadsiatimi piatimi rokmi.

Za autorský kolektív

*Zuzana Kabátová*



# 1 Anatómia a fyziológia sluchového orgánu

*Oliver Profant, Martin Durisin*

Zvuk je energia, ktorá sa šíri prostredníctvom mechanického vlnenia, pri ktorom sú rozkmitávané molekuly prostredia. Aby z takejto energie mohol vzniknúť sluchový vnem, musí byť zvuk spracovaný zmyslovým orgánom sluchu – uchom.

Ludské ucho, podobne ako u iných cicavcov, je párový orgán, skladajúci sa z troch častí: vonkajšie, stredné a vnútorné ucho.

## 1.1 Vonkajšie ucho (auris externa)

Skladá sa z troch základných častí: ušnica (auricula), vonkajší zvukovod (meatus acusticus externus), ktorý je uzavretý blanitou membránou zvanou blanka bubienka (membrana tympanica).

### Ušnica

Jej úlohou je zachytiť a nasmerovať zvuk do vonkajšieho zvukovodu. Pre človeka je táto funkcia menej významná ako u iných cicavcov a uplatňuje sa až pre zvuky s frekvenciou nad 500 Hz.

Tvar ušnice je u človeka individuálny vzhľadom na multikomponentný embryologický pôvod. Vývoj ušnice sa začína približne v štvrtom týždni gravidity a vychádza z prvého a druhého žiabrového oblúka. Okolo šiesteho týždňa sa vyvíja šesť mezenchymálnych hrebeňov zvaných Hisove vyvýšeniny, ktoré sa spoja približne v dvanástom týždni. V dvadsiatom týždni je ušnica sformovaná. Každá Hisova vyvýšenina reprezentuje špecifickú štruktúru ušnice. Z prvej sa formuje tragus, z druhej a tretej postupne crus hellicis a helix. Štvrtá a piata formujú antihelix a šiesta antitragus. Vývoj ušnice je nezávislý od vývoja stredného a vnútorného ucha.

Ušnica u narodeného dieťaťa dosahuje asi 66 % veľkosti dospeljej. Jej laterálny povrch je charakterizovaný troma konvexitami. Dominantnou je concha, ktorú ohraňuje vpredu tragus, hore a vzadu antihelix a spodná hranica je tvorená antitragom. Ďalšou priehlbínou je fossa triangularis, ktorá je umiestnená medzi crus hellicis, prechádzajúcej do antihelixu. Medzi helixom a antihelixom sa nachádza tretia konvexita – fossa scaphoidea. Helix tvorí hornú a laterálnu časť ušnice a v dolnej časti prechádza do fibrózne tukového lalôčika (lobulus). Ušnica je pripojená k lebke pomocou kože, chrupky, svalov a ligament.

### Vonkajší zvukovod

U dospelého je dlhý približne 2,5 cm. Vývoj vonkajšieho zvukovodu sa začína v druhom mesiaci, kedy dochádza k postupnému prehlbovaniu dorzálnej časti žiabrového žliabku a prekryvaniu ektodermy endodermou prvého faryngeálneho vačku. Ďalším prehlbovaním koncom druhého mesiaca vzniká primárny kanál vonkajšieho zvukovodu (jeho budúca chrupková časť). Kostná časť sa vyvíja z epitelových buniek koncovej časti primárneho kanála približne v piatom mesiaci. Vývoj kostnej časti sa končí v závere siedmeho mesiaca.

Vonkajší zvukovod je vo vonkajšej tretine tvorený chrupkou a v ďalších dvoch tretinách kosťou. Je esovito zahnutý (chrupková časť smeruje dozadu a dohora, kostná naopak dopredu a dole). Tesne za miestom prechodu chrupkovej do kostnej časti sa nachádza istmus, ktorý je najužšou časťou vonkajšieho zvukovodu. Jeho steny sú vystlané kožou, ktorá je v kostnej časti tenšia a neobsahuje vlasové folikuly. Naopak, v chrupkovej časti sa pridávajú aj mazové a ceruminózne žliazky.

Vonkajší zvukovod je mediálne ukončený blankou bubienka, ktorá oddeľuje vonkajšie a stredné ucho.

### Fyziológia vonkajšieho ucha

Vonkajšie ucho vedie zvuk z vonkajšieho prostredia na štruktúry stredného ucha. Tento prenos je zároveň ovplyvnený aj telom (najmä ramená) a hlavou, ktoré dávajú zvukovej vlne definitívny tvar. Ramená a hlava totiž pôsobia ako zvukový tieň (hlavne pri frekvenciách zvuku 1500 Hz a menej). Celý proces sa začína zachytením časti zvukového tlaku ušnicou, ktorý smeruje cez vonkajší zvukovod na blanku bubienka. Napriek mechanickej pasivite všetkých troch častí (hlava, ušnica, vonkajší zvukovod) dochádza v priebehu tohto prenosu k čiastočnému zvýšeniu tlaku zvuku. Takéto pasívne zvýšenie je spôsobené rezonanciou zvukov v dutine tvorenej cavum conchae a vonkajším zvukovodom. Zvuky, ktoré sú pasívne ovplyvnené, sa nachádzajú vo frekvenčnom rozsahu 1500–7000 Hz a intenzitný zisk je okolo 20 dB SPL (79).

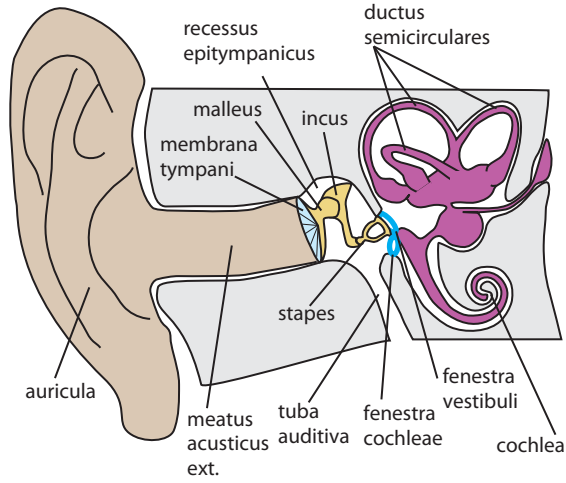
Druhou úlohou vonkajšieho ucha a hlavy je lokalizácia zvuku v priestore. Pokiaľ sa hovorí o stranej orientácii v horizontálnej rovine, táto je umožnená porovnaním časových a intenzitných vnemov medzi oboma ušami, ktoré sú ovplyvnené akustickým tieňom hlavy. Napríklad, zvuk prichádzajúci z pravej strany bude skôr zachytený a bude mať väčšiu intenzitu v pravom uchu než v ľavom. Ak nás zaujíma orientácia v predozadnom rozmere alebo vo vertikálnej osi, dôležité sú zmeny zvukového tlaku na blanku bubienka, ktoré sa menia podľa toho, v akom smere narazí zvuková vlna na ušnicu a vonkajší zvukovod. Možnosť takejto orientácie je však u človeka vzhľadom na výrazne obmedzený pohyb ušnice znížená (naopak, u niektorých zvierat, napr. netopier, ktoré sú schopné pohybovať ušnicami dokonca separátne, je dominantná).

## 1.2 Stredné ucho (auris media)

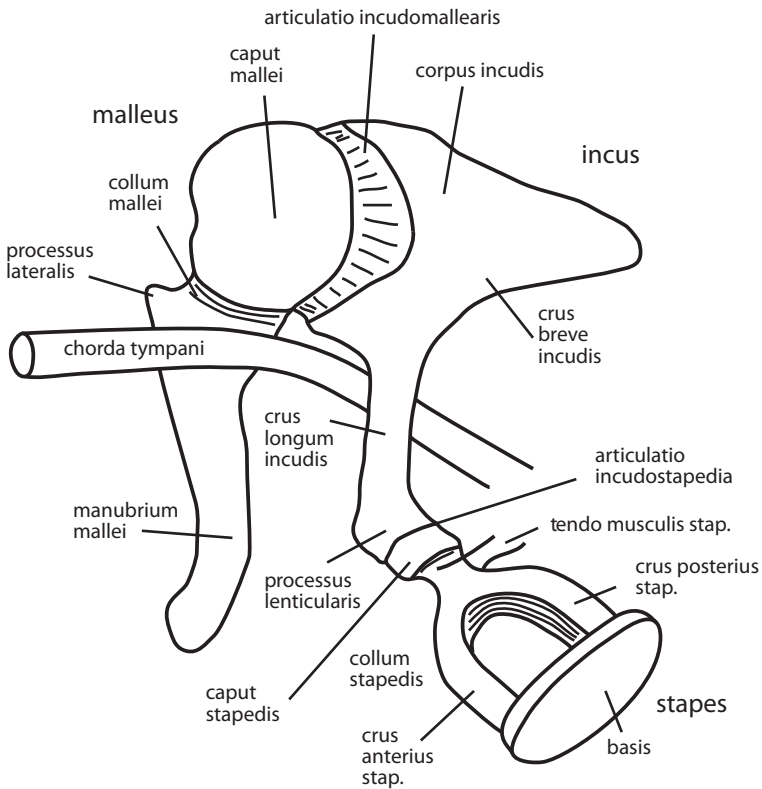
Pod pojmom stredné ucho sa myslí bubienková dutina obsahujúca stredoušné kostičky (kladivko, nákovka a strmienok), drobné svaly (musculus tensor tympani, musculus stapedius), pneumatický systém spánkovej kosti a Eustachovu trubicu.

Stredoušné priestory sú vystlané sliznicou stredoušia. Táto sliznica je tvorená štyrmi typmi buniek: riasinkové, neriasinkové so sekretorickými granulami, bazálne a intermediálne. Úlohou stredoušia je prenos mechanickej energie na tekutinu vnútorného ucha. Toto je dosiahnuté pohybom bubienkovej membrány, ktorá rozkmitá stredoušné kostičky a tie prenesú energiu na tekutinu vnútorného ucha (obr. 1.1, 1.2).

Stredoušná dutina sa začína vyvíjať okolo tretieho týždňa tehotenstva z prvého faryngeálneho vychlípenia. Endodermálne tkanivo zadnej časti tohto vychlípenia je miestom vzniku Eustachovej trubice a bubienkovej dutiny. Z koncovej časti vychlípenia vznikajú štyri vačky, z ktorých sa približne v tridsiatom týždni vytvorí bubienková



Obr. 1.1 Základné prvky periférnej časti sluchového orgánu (28)



Obr. 1.2 Sluchové kostičky (28)

dutina, pričom ale oblasť processus mastoideus a jeho pneumatizácia sa vyvíja až do pätnásteho roku života. Eustachova trubica zostáva otvorená počas celého vývoja a je spolu so stredoušnou dutinou vyplnená amniovou tekutinou.

Vývoj stredoušných kostičiek sa začína asi v štvrtom týždni z mezenchýmu spájajúceho prvý a druhý žiabrový oblúk. Takto vzniká kladivko a nákovka, strmienok vzniká priamo z druhého žiabrového oblúka, pričom jeho platnička sa vyvíja z otickej kapsuly. Približne v pätnástom týždni dosahujú kostičky dospelú veľkosť a z mezenchýmu sa vytvárajú stredoušné svaly. Konečný tvar sa dosiahne približne v dvadsiatom týždni.

### **Blanka bubienka (membrana tympanica)**

Embryologicky sa blanka bubienka začína vyvíjať v deviatom týždni z lamina propria, ktorá vychádza z mezenchýmu lokalizovaného mediálne od meatálnej platne (mediálny koniec primárneho zvukovodu).

Blanka bubienka je blanitá kruhovitá membrána, ktorá je vo svojom strede mierne vpáčená do stredoušnej dutiny, pričom hrot takto vzniknutého kónusu sa opiera o umbo (hrot rukováti kladivka), o ktoré je pevne prirastený. Priemer bubienka je asi 9 mm a s hornou stenou vonkajšieho zvukovodu je u dospelého človeka spojený v približne 140° uhle. Blanka bubienka sa opiera o rukoväť kladivka, ku ktorej je relatívne voľne prirastená pomocou kladivkovej riasy (stria mallearis) a v hornej časti o laterálny výbežok kladivka. Od laterálneho výbežku odstupujú predná a zadná tympanálna stria, ktoré rozdeľujú bubienok na dve časti. Horná časť sa nazýva **pars flaccida** (Shrapnellova membrána) a dolná časť **pars tensa**. Histologicky sa blanka bubienka skladá z troch vrstiev. Laterálne (smerom do vonkajšieho zvukovodu) je stratum cutaneum tvorené dlaždicovým epitelom (je pokračovaním kože vonkajšieho zvukovodu). Stratum fibrosum je tvorená fibróznymi vláknami, ktoré sú vo vonkajšej časti usporiadané radiálne a v mediálnej časti cirkulárne. Tretou vrstvou je stratum mucosum, ktorá je tvorená jednovrstvovým epitelom (pokračovanie sliznice stredného ucha). Toto vrstvenie je charakteristické pre pars tensa bubienka. Pars flaccida má síce všetky tri vrstvy, ale pars fibrosa v tomto prípade obsahuje väčšie množstvo vlákien, ktoré sú usporiadané chaoticky. Blanka bubienka je pomocou svojho zhrubnutého okraja (anulus fibrocartilagineus) ukotvená v sulcus tympanicus po celom svojom obvode s výnimkou Rivinovho zárezu, kde obe časti chýbajú. V tomto mieste je blanka bubienka priamo prirastená k šupine (squama) spánkovej kosti.

### **Bubienková dutina**

Bubienková dutina sa rozdeľuje na epi-, meso- a hypotympanum. Anatomické hranice medzi jednotlivými časťami sú pomerne jasne definované horným okrajom pars tensa a dolným okrajom blanky bubienka.

**Epitympanum.** Hornú stenu epitympana tvorí tegmen tympani (nad ním sa nachádza dura mater strednej jamy), epitympanum sa ďalej otvára do aditus ad antrum a pneumatizácie processus mastoideus. Epitympanum obsahuje inkudomaleárne sklbenie a musculus tensor tympani, čiastočne sem zasahuje aj chorda tympani (senzorická vetva inervujúca jazyk, odstupujúca z nervus facialis) a kostný kryt predného vertikálneho kanálika.



**Mesotympanum** je najužšia časť bubienkovej dutiny, ktorá je laterálne ohraničená pars tensa blanky bubienka, mediálnu stenu tvorí promontórium (bazálny závit kochley), fenestra vestibuli (oválne okienko) s platničkou strmienka a fenestra cochleae (okružle okienko), v ktorej sa nachádza membrana tympani secundaria. Mesotympanum obsahuje hmotnostne malú časť reťaze sluchových kostičiek (rukoväť kladivka, inkudomaleárne sklbenie, strmienok). Cez priestor mesotympana čiastočne prebieha chorda tympani. Processus cochleariformis je dôležitý pri orientácii v stredouši a hlavne pri identifikácii kostného kanála nervus facialis. Mediálne od processus cochleariformis je uložené ganglion geniculi, prvý ohyb nervus facialis s odstupom nervus petrosus major. Z eminentia pyramidalis vychádza do bubienkovej dutiny šľacha m. stapedius a upína sa na krčok strmienka. Na prednej stene mesotympana sa nachádza ústie sluchovej trubice.

**Hypotympanum** je uložené pod úrovňou dolnej hranice blanky bubienka. Pod dolnou stenou je bulbus v. jugularis, jeho zadnú hranicu tvorí mastoidálny úsek kanála n. facialis. Môže sa sem zaradiť aj recessus facialis a sinus tympani, ktoré však niekedy bývajú súčasťou samostatného oddielu nazývaného **retrotympanum**.

### Fyziológia stredného ucha

Vzhľadom na pomerne výrazný rozdiel v impedancii tekutiny a vzduchu sa pri priamom prenose zvuku zo vzduchu na tekutinu odrazí asi 99,9 % energie a iba 0,1 % je využitá na rozchýbanie tekutiny. Rovnaká strata by vznikla, ak by zvuk dopadol priamo na membránu, resp. platničku strmienka bez toho, aby bola využitá transformačná funkcia stredného ucha. Ďalšou zložkou ovplyvňujúcou impedanciu kochley je pohyb tekutiny medzi platničkou strmienka v oválnom okienku a blanou okrúhleho okienka a ich poddajnosť.

Na transformačnej funkcii stredného ucha sa podieľa:

1. rozdiel medzi veľkosťou blanky bubienka a oválneho okienka,
2. pákový mechanizmus,
3. pohyblivosť blanky bubienka,
4. pohyblivosť reťaze sluchových kostičiek.

Najväčší vplyv na impedanciu stredoušia má rozdielnosť plôch blanky bubienka a oválneho okienka. Energia, ktorá dopadá na blanku bubienka, vytvára určitý tlak. Veľkosť takéhoto tlaku závisí od veľkosti plochy, na ktorú dopadne podľa zákona  $p=F/A$ . Takže sila, ktorá sa preniesie na oválne okienko, je vzhľadom na oveľa menšiu plochu niekoľkonásobne väčšia (násobená pomerom medzi veľkosťou oboch plôch) (7).

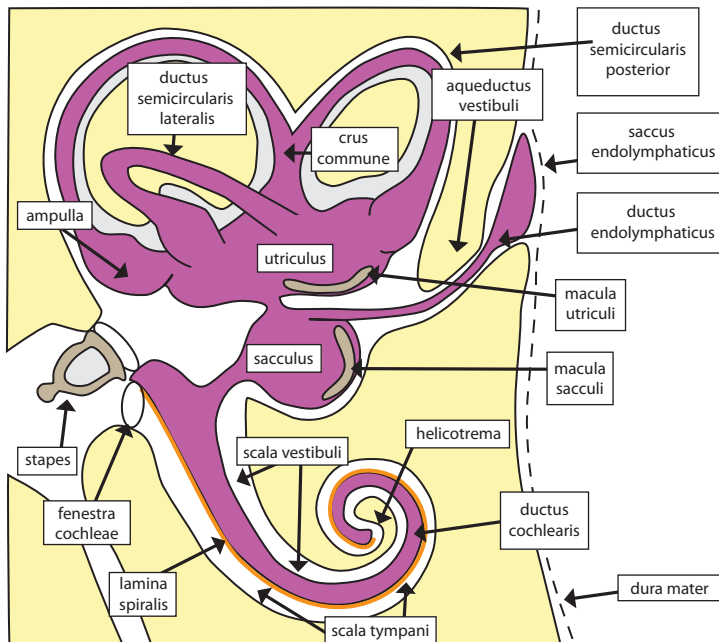
Pri dopade zvuku na blanku bubienka dôjde k jej rozkmitaniu. Tento pohyb však nie je rovnomerný a závisí od miesta dopadu vlnenia na membránu a aj od frekvencie zvuku. Pokiaľ sa zmeria rozsah pohybu na viacerých miestach membrány (18, 88), po dopade zvuku s frekvenciou do 1 kHz vzniká pohyb membrány, ktorý je na všetkých meraných miestach vo fáze (podobne ako kruhy na vodnej hladine po vrhnutí kameňa). Ak sa však použije zvuk s frekvenciou medzi 1–15 kHz, dochádza k akoby náhodnému rozchýbaniu membrány, ktoré je v meraných bodoch odlišné (v amplitúde aj vo fáze pohybu). Dôvodom takýchto rozdielných pohybov je vzdialenosť medzi vrcholmi zvukovej sínusoidy. Čím je totiž frekvencia nižšia, tým je vzdialenosť väčšia a preto na povrch blanky bubienka dopadne akoby len jeden vrchol (vzdialenosť medzi jednotlivými vrcholmi je väčšia ako priemer blanky bubienka). Ďalším dôležitým faktorom, ktorý ovplyvňuje prenos zvu-

ku, je kónický tvar blanky bubienka. Ten umožňuje väčší pohyb časti membrány, ktorá nie je priamo pripojená na manubrium. Takýmto spôsobom sa mierne zvýši sila prenášaná na stredoušnú reťaz kostičiek a naopak, zníži sa rýchlosť jej pohybu.

Pohyb reťaze kostičiek sa začína vychýlením manubria a rotáciou v inkudomaleárnom kĺbe (27, 35). Vzhľadom na rozsah tohto pohybu je potom pohyb strmienka relatívne malý. Takáto nerovnováha je spôsobená pravdepodobne špecifickým typom ľudského inkudomaleárneho skĺbenia (umožňuje kĺzavý pohyb), ktoré je odlišné od ostatných cicavcov (90). Rozdielna veľkosť ramena kladivka a strmienka spôsobí, že celý systém funguje podobne ako páka. To znamená, že sila prenesená na strmienok sa zvýši a rýchlosť pohybu sa zníži.

### 1.3 Vnútoré ucho (auris interna)

Pod pojmom vnútoré ucho sa skrývajú dva od seba relatívne funkčne odlišné systémy – kochlea a vestibulárny aparát (obr. 1.3). Celé vnútoré ucho je uložené v skalnej kosti (os petrosum). Skladá sa z kostného puzdra labyrintu (labyrinthus osseus), v ktorom je vo vnútri uložený blanitý labyrint (labyrinthus membranaceus).

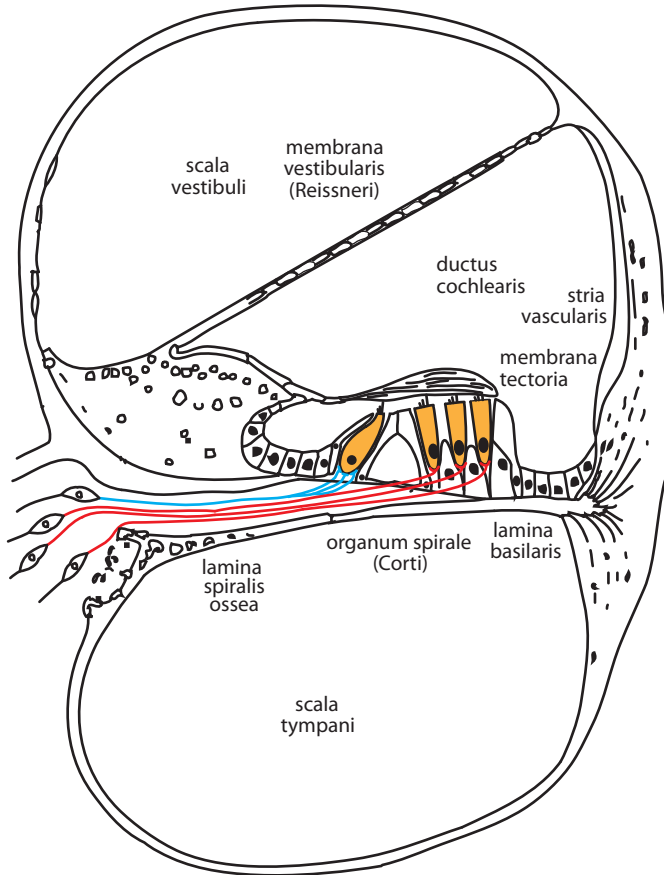


Obr. 1.3 Štruktúry vnútorného ucha

#### Kochlea (cochlea)

Pri spracovaní zvukov má dominantnú úlohu kochlea – kostná štruktúra obsahujúca samotný zmyslový orgán sluchu. Táto štruktúra, tvarom podobná slimáku,

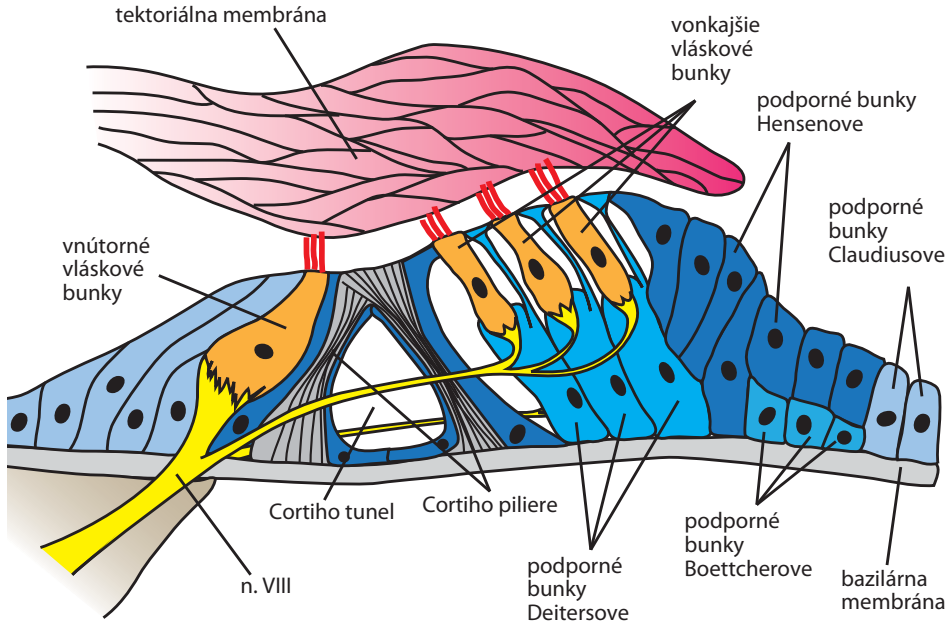
obsahuje kanál točiaci sa dva a pol závitú, ktorý je pri báze najširší a smerom k hrotu sa zužuje. U dospelého človeka dosahuje dĺžku približne 3,5 cm. Vo vnútri kostnej štruktúry sa nachádza scala vestibuli, scala tympani a medzi nimi sluchová časť blaniťého labyrintu – scala media (obr. 1.4).



**Obr. 1.4** *Prierez kochleou*

Pomocou Reissnerovej membrány je scala media oddelená od scala vestibuli a bazilárna membrána ju oddeľuje od scala tympani. Celý blaniťý labyrint je vyplnený tekutinou, ktorú v scala vestibuli a scala tympani tvorí perilymfa a v scala media endolymfa. Endolymfa svojím iónovým zložením pripomína intracelulárnu tekutinu (vysoký obsah draslíka a nízky obsah sodíka) a naopak, perilymfa pripomína zložením skôr extracelulárnu tekutinu, resp. mozgovomiechový mok. Pre spracovanie sluchového signálu je dôležitá komunikácia medzi scala vestibuli a scala tympani, ktorú umožňuje otvor v hrote kochley nazývaný helicotrema.

Vlastný zmyslový aparát, **Cortiho orgán**, je uložený na bazilárnej membráne v scala media (obr. 1.5). Bazilárna membrána je pri báze najužšia a smerom k hrotu sa rozširuje.



**Obr. 1.5** Cortiho orgán

Cortiho orgán obsahuje niekoľko typov buniek, pričom z fyziologického hľadiska sú najdôležitejšie vláskové bunky. Existujú dva typy vláskových buniek:

- vonkajšie vláskové bunky (OHC),
- vnútorné vláskové bunky (IHC).

Ich názov pochádza z drobných, vzájomne prepojených vlások (stereocílií), ktoré sú usporiadané na apikálnej strane bunky a tvoria vlastne mechanoreceptory (približne 60–70 stereocílií na povrchu 1 IHC).

**Vnútorné vláskové bunky**, ktorých je u človeka asi 3500 (napr. podobne ako u veľrýb, ale asi dvojnásobne viac ako u potkana alebo myši), sú usporiadané v jednom rade centrálné (bližšie k modiolu, čo je kostná os kochley).

**Vonkajších vláskových buniek** je približne 12 000 a sú usporiadané do troch radov.

Vláskové bunky sa medzi sebou líšia tvarom (OHC sú skôr cylindrické a IHC podobné hruške), usporiadaním stereocílií (tvar V u OHC a tvar U u IHC) a ich ukotvením do tektoriálnej membrány (OHC sú ukotvené do TM, kým IHC nie) (obr. 1.6). Okrem vláskových buniek sa v Cortiho orgáne nachádzajú aj podporné bunky (Deitersove, Hensonove) a pilierové bunky (tvoria stenu Cortiho kanálu).

Pre správnu funkciu Cortiho orgánu i samotných vláskových buniek je nesmierne dôležitá homeostáza. Cievne zásobenie pochádza z arteria labyrinthi (časť zásobujúca kochleu je tvorená arteria cochlearis communis, ktorá sa ďalej delí na arteria cochlearis propria –zásobuje apikálnu časť kochley a arteria vestibulocochlearis; z arteria vestibulocochlearis odstupuje ramus cochlearis, ktorý zásobuje bazálnu časť kochley), ktorá vychádza z arteria cerebelli inferior anterior (AICA) (obr. 1.7). Aby nebol sluchový vnem ovplyvnený pulzáciou ciev, vytvárajú koncové vetvy arteria labyrinthi plexus,