

Biofyzika sluchu

Sluch je schopnost živočichů vnímat zvuk pomocí specializovaného orgánu – ucha. Rozeznáváme dva typy zvukového vedení: **vedení kostní** a **vzdušné**.

Vedením vzdušným nazýváme vedení zvuku cestou zvukovod – bubínek – sluchové kůstky – oválné okénko. Mimo to je možné rozkmitat tekutiny ve vnitřním uchu přímým přenosem vibrací lebečních kostí – v tomto případě mluvíme o vedení kostním. Sluchový práh pro kostní vedení je u zdravého člověka asi o 40 dB výše než práh vzdušného vedení, proto se kostní vedení uplatňuje především tam, kde je porušeno vedení vzdušné. Zdravý člověk využívá kostního vedení při vnímání vlastního hlasu nebo velmi silných zvuků.

Lidské ucho je schopno vnímat zvuky o frekvenci **16 Hz-20 kHz**, hladině **0 dB (sluchový práh)** až **130 dB (práh bolesti)**.

Stručná anatomie sluchového ústrojí

Pro správné pochopení procesu slyšení a pro jednodušší popis jednotlivých fází vedení zvuku uchem je nutné alespoň lehce nastínit anatomickou stavbu.

Lidské ucho se skládá ze tří částí:

1. Zevní ucho (auris externa)
2. Střední ucho (auris media)
3. Vnitřní ucho (auris interna)

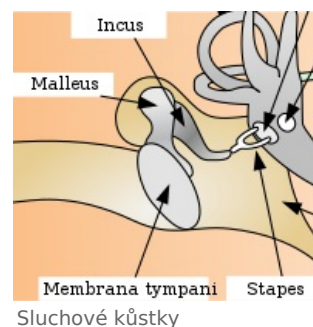
Zevní ucho

Zevní ucho se skládá z **boltce** (auricula), **zevního zvukovodu** (meatus acusticus externus) a **bubínku** (membrana tympani).

Sluchový boltce je u člověka rudimentární a jeho funkce je minimální. Na rozdíl od jiných savců jsou svaly lidského boltce bez funkčního významu. Jejich inervace je z n. VII.

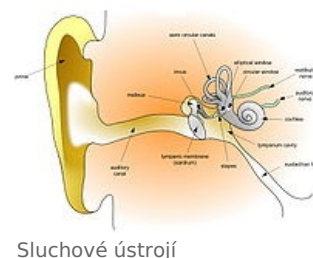
Zevní zvukovod je částečně chrupavčitá a částečně kostěná trubice, začínající v porus acusticus externus a zakončená bubínkem. Jejím podkladem je **os tympanicum**. Nejužší místo (isthmus) zevního zvukovodu je na rozhraní chrupavčitého a kostěného úseku a má průměr 6–8 mm. Celková délka zevního zvukovodu je 24–35 mm.

Bubínek odděluje zevní zvukovod od středoušní dutiny. Jedná se o tenkou oválnou membránu (9 x 10 mm) s tloušťkou 0,1 mm. Na bubínek se ve středním uchu napojují sluchové kůstky kladívko.



Střední ucho

Střední ucho je lokalizováno ve **středoušní dutině** (cavitas tympanica). Obsahuje 3 sluchové kůstky: **kladívko** (malleus), **kovadlinka** (incus), **třmínek** (stapes). Sluchové kůstky jsou vzájemně propojené. Kladívko přiléhá k bubínku, následuje kovadlinka, na níž nasedá třmínek, který je spojen s blánou **fenestra vestibuli** (fenestra ovalis). Střední ucho je spojeno s nosohltanem **Eustachovou trubicí** (tuba auditiva). Důležitou funkci ve středním uchu zastávají také sluchové svaly: m. tensor tympani (inervace n. V. a VII.), m. stapedius (inervace n. VII.).



Vnitřní ucho

Vnitřní ucho zahrnuje **kostěný labyrint** (labyrinthus osseus) a v něm **blanitý labyrint** (labyrinthus membranaceus), jenž obsahuje **endolymfu**. Labyrint má část rovnovážnou, složenou z vestibulu a tří polokruhovitých kanálků, a část sluchovou, kterou představuje kostěný a blanitý hlemýžď (cochlea) s receptčním sluchovým Cortiho orgánem, umístěným na basilární membráně (délka asi 3 cm). Sluchová dráha vede z ganglion cochleare do horní části temporálního laloku (**Heschlovy závitě**).



Stavba Cortiho orgánu

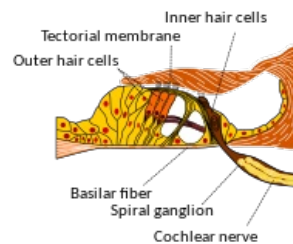
Cortiho orgán (organum spirale) je složitá soustava podpůrných a smyslových buněk. Základem orgánu jsou dvě řady podpůrných cylindrických **pilířových buněk** (Cortiho buňky), které společně vytváří **Cortiho tunel**. Po obou stranách pilířových buněk jsou uloženy **smyslové (vláskové) buňky**. Mediálně je jedna řada (**vnitřní vláskové buňky**), laterálně jsou tři až čtyři řady vláskových buněk (**zevní vláskové buňky**). Vnitřních vláskových buněk je 1500. Jejich apikální povrch obsahuje 50–60 stereocilií, které jsou v kontaktu s **membrana tectoria**. Zevní vláskové buňky se nacházejí v počtu 12–15 000, jsou také opatřeny stereociliemi. V basální části jsou v kontaktu s aferentními i eferentními vlákny.

Střední ucho

Biofyzika slyšení

Zvuková vlna je směřována ušním boltcem do zevního zvukovodu. Ušní boltec, jak již bylo zmíněno, je rudimentární, a jeho ztráta zásadně neovlivní slyšení. Zevní zvukovod přivádí zachycené zvuky k bubínku, které do něj naráží a rozechvívají ho.

Výhybky bubínku jsou velmi malé (při frekvenci 1 kHz, asi 10^{-11} m). Plocha bubínku je asi 55 mm² a plocha membránového okénka na něž jsou kmity přivedeny pomocí ušních kůstek, je pouhé 3 mm². Předpokládáme-li, že energie procházející oběma plochami je stejná, akustický tlak se dostává na plochu oválného okénka mnohonásobně větší (asi 22x). To je nezbytné k překonání akustického odporu tekutiny v hlemýždi. Jako pomocné systémy se ve středním uchu uplatňují Eustachova trubice a ušní svaly, které zevnitř vyrovnávají tlak na bubínek, aby nedošlo k jeho protržení.



Cortiho orgán

Rozkmitání oválného okénka způsobí vibrace v endolymfě (nestlačitelná kapalina), které jsou ještě zesíleny vibracemi z kostního vedení, jež se sem dostává přes kosti lebky. Endolymfa svými vibracemi rozkmitává membrana tectoria, která následně dráždí stereocilie vnitřních vláskových buněk. Ty uvolňují malé množství mediátoru (pravděpod. glutamátu) v bazální části buňky, čímž vzniká nervový signál.

Zevní vláskové buňky mají funkci zesilovače. Při jejich podráždění zde dochází k prodloužení a následnému smrštění buněk, čímž se zvyšuje citlivosti vnitřních vláskových buněk. Tento mechanismus umožňuje slyšet velmi tiché zvuky.

Odkazy

Externí odkazy

- Přenos zvuku uchem a zpracování (<https://www.youtube.com/watch?v=PeTriGTENoc>)
- Zjednodušený princip funkce ucha (<https://www.youtube.com/watch?v=fIIAxGsV1q0>)

Související články

- Akustika ■ Vlastnosti zvuku ■ Šíření akustického vlnění ■ Akustický tlak a akustická impedance ■ Ultrazvuk v různých prostředích a tkáních ■ Vlastnosti zvuku ■ Hlasitost ■ Výška tónu ■ Barva zvuku ■ Práh sluchu a sluchové pole ■ Mechanicky aktivované kanály ■ Vyšetření sluchu ■ Audiometrie ■ Klasifikace sluchových poruch ■ Hluk a jeho škodlivost

Použitá literatura

- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, et al. *Medicínská biofyzika*. 1 (dotisk 2013) vydání. Praha : Grada Publishing, 2005. 524 s. s. 287-290. ISBN 978-80-247-1152-2.
- DRUGA, Rastislav a Miloš GRIM. *Anatomie periferního nervového systému, smyslových orgánů a kůže*. 1. vydání. Praha : Galén : Karolinum, c2013. s. 135-153. ISBN 978-80-7262-970-1.
- ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. 2. vydání. Praha : Grada Publishing, 2004. 692 s. s. 621-640. ISBN 978-80-247-1132-4.
- AMLER, Evžen. *Akustika* [přednáška k předmětu Biofyzika, obor VL, 2. LF UK]. Praha. 2013.