Vznik a složení lidského hlasu

Lidský hlas vzniká podobným způsobem jako zvuk v jazýčkové píšťale. V hrtanu jsou dvě pružné blány, nazývané hlasivky, které jsou při hovoření a zpívání napnuté tak, že je mezi nimi úzká hlasová štěrbina. Proudem vzduchu z plic se hlasivky rozkmitají, čímž v prostoru na druhé straně hlasivek vzniká pravidelné kolísání tlaku vzduchu, které se šíří skrz ústa do okolí jako zvukové vlnění nazývané lidským hlasem.
Výška hlasu závisí na délce hlasivek (u mužů asi 18 mm, u žen asi 12 mm) a jejich napínání, které se působením příslušného svalstva může měnit. Tyto hranice určují výškový rozsah lidského hlasu, který se rovná asi dvěma oktávám, které mohou být u různých osob v různých polohách.
Různé zabarvení lidského hlasu, které rozeznáváme hlavně podle samohlásek, vzniká rezonancí hrtanové, ústní a nosní dutiny. Jejich značný útlum na měkkých stěnách způsobuje, že tyto dutiny jsou schopné zesilňovat široký obor tónů okolo jejich vlastních tónů, tzv. formantů. Vlastní tón neměnné hrtanové dutiny je tzv. vedlejší formant s frekvencí asi 400 Hz (tón g1). Hlavní formant, vlastní tón ústní dutiny, se může měnit polohou jazyka, zubů a rtů v širokém rozsahu asi od 175 Hz (f) do 3700 Hz (b4). Dutina nosní má jen menší vliv, který se projevuje například při rýmě. U složitého zvuku, který vzniká v hlasivkách, se v rezonančních dutinách zesilují hlavně frekvence v okolí formantů. Hlavní formant je měnitelný, a proto se může měnit i složení lidského hlasu, čímž právě vznikají různé samohlásky. Nejnižší je formant samohlásky u, asi 175 Hz (tón f). Při obyčejné řeči je v této samohlásce pouze základní tón. Tím se dá vysvětlit zvuk ladičky, ve kterém je také prakticky jen základní tón, a proto budí dojem samohlásky u. Formanty ostatních samohlásek jsou postupně vyšší: pro o asi 400 Hz (g1), pro a 800 Hz (g2), pro e 2300 Hz (d4) a pro i 3700 Hz (b4). Grafický záznam kolísání tlaku vzduchu při vyslovování jednotlivých samohlásek. Je na něm vidět, že při souvislé a obvyklým způsobem hovořené řeči mají všechny samohlásky stejnou základní frekvenci, ke které se přidávají formanty – nejvyšší při vyslovování hlásky i. Při mluvení šeptem jsou hlasivky uvolněnější, a proto základní tón nevzniká. Vzduchovým proudem unikajícím z plic se rozechvívají jen tři rezonanční dutiny, což na porozumění řeči stačí.

Souhlásky vznikají jako šelesty při proudění vzduchu skrz zúžená místa (například souhláska s je soubor velmi vysokých tónů, vznikajících při proudění vzduchu mezi zuby) nebo tím, že rty, zuby nebo jazyk náhle otvírají cestu pro vzduch proudící z plic, čímž vznikají jen krátce trvající nepravidelné zvuky.
Aby byl reprodukovaný lidský hlas dostatečně srozumitelný, je třeba, aby příslušné zařízení dostatečně rovnoměrně reprodukovalo i tóny o poměrně vysokých frekvencích. Podle zkušeností dokonalého přenosu řeči telefonem nebo rozhlasovým reproduktorem je třeba, aby membrána správně reprodukovala tóny až do výšky asi 8 000 Hz. Pokud se však uspokojíme pouze s porozuměním řeči, jako je to při telefonování, stačí, pokud membrána reprodukuje správné tóny do výšky asi 2 600 Hz. Se zmenšováním této hranice srozumitelnost řeči klesá a končí už při frekvenci asi 1 000 Hz.
Vlastní reprodukovaný hlas se nám zdá nepřirozený. Je to způsobeno faktem, že když mluvíme, tak svůj hlas slyšíme jinak než ti, kteří jsou kolem nás. Zvuky, které vydáváme, přicházejí k nim vzduchem, jednak přímo a jednak po odrazu od pevných předmětů (např. stěn). Svůj hlas však slyšíme hlavně díky vodivosti kostí. Chvění se totiž šíří od hlasivek do vnitřního ucha (do zakončení sluchového nervu) prostřednictvím souboru kostí, které jsou mezi hlasivkami a sluchovým nervem. Tento systém kostí tvoří jakýsi druh zvukového filtru, který propouští některé frekvence lépe a jiné zase hůře. To znamená, že zabarvení přenášených zvuků je dosti pozměněno.
Za normálních okolností k nám ovšem přichází část zvuků též vzdušnou cestou, ale pouze po odrazu od různých povrchů. Pokud by se člověk postavil do dokonale akusticky izolované kabiny, jejíž stěny dokonale pohlcují zvuky, slyšel by se pouze díky vodivosti kostí. Měl by přitom nepříjemný pocit, jako by se dusil ...
Charakteristiky tónu: Tón má svou výšku, barvu, intenzitu (hlasitost).
1) absolutní výška tónu – je u jednoduchých tónů určena frekvencí f, u složených tónů frekvencí fz základního tónu
2) relativní výška – je poměr absolutní výšky daného tónu a frekvence tónu zvoleného jako základ (v hudební akustice 440 Hz – komorní A, v technické praxi 1000 Hz).
3) barva tónu – je způsobena počtem, frekvencí a amplitudou vyšších harmonických tónů.

Sluch, sluchový orgán, ucho

Sluch je smysl pro vnímání zvuku. Zvukové vlny jsou zachovány specializovanými mechanoreceptory. Sluch je vyvinut zejména u živočichů, kteří se mezi sebou dorozumívají pomocí zvukových signálů tj. u hmyzu a vyšších obratlovců. U hmyzu jsou sluchové orgány uloženy v tykadlech (komáři), na končetinách (cvrčci), nebo na hrudi (noční motýli). Člověk, jako živočišný druh má málo nepřátel, nepotřebuje mít velmi citlivý sluch. Proto jsou naše uši malé, ploché a nepohyblivé. Slouží nám hlavně pro zachycování zvuků pocházejících z různých směrů. Receptory pro vnímání zvuku u ryb jsou uloženy zejména v postraní čáře. Orgánem sluchu u vyšších obratlovců je ucho. Intenzita zvuku je kódována frekvencí vzruchů v daném nervovém vlákně. Vyšší frekvence (tj. ultrazvuk ) vnímají například delfíni, psi, netopýři.

Podnětem pro sluch jsou zvukové vlny= podélné kmitání molekul vzduchu. Sluchem jsme schopni rozeznat zvuky a tóny, jejich intenzitu, výšku, zbarvení, směr, odkud přicházejí. Člověk slyší a rozlišuje tóny od kmitočtu 16Hz až 16000 – 20000Hz. Maximální citlivost sluchu je pro tóny okolo 1000 až 3000Hz. Vědci měří hlasitost zvuku v decibelech. Zvuky okolo 90 – 100 dB mohou sluch poškodit.

Popis ucha

Ucho je ústrojí sluchu a rovnováhy. Má tři části: zevní ucho, střední a vnitřní ucho.

Zevní ucho: Má za úkol zachytit zvukové vlny a dovést je k bubínku. Zevní ucho tvoří ušní boltec, chrupavčitá struktura s množstvím záhybů, vystupující po obou stranách hlavy, a zevní zvukovod (trubice dlouhá asi 2,5cm). Je vystlán jemnou kůží s četnými mazovými žlázami. Proti střednímu uchu je zvukovod uzavřen bubínkem (pružná asi 0,1mm silná a 1cm velká blána).

Střední ucho:Dutina ve spánkové kosti spojená Eustachovou trubicí, která pokrývá i tři kůstky-kladívko, kovadlinku a třmínek. Kladívko je svým držátkem přirostlé k bubínku, oblou hlavičkou je kloubně spojeno s kovadlinkou a ta je napojena na třmínek, který je zasazen do oválného okénka kosti skalní. Mezi plochou bubínku (50-90mm2) a malou ploškou třmínku (3mm2), kterou vyplňuje oválné okénko, je velký nepoměr. Kůstky tvoří systém pák, který pohyby bubínku takto koncentruje na malou plochu a dosahuje tím až třicetinásobné zvětšení síly kmitu.

Vnitřní ucho: je uloženo v dutinách skalní kosti, které se souborně označují jako kostěný labyrint, skládající se ze třech polokruhovitých kanálků, z předsíně a hlemýždě. Do předsíňové části vedou ze středoušní dutiny dvě okénka: oválné, do něhož je zasazen třmínek a kulaté, uzavřené tenkou vazivovou blánou. Dutiny kostěného labyrintu jsou vyplněny tekutinou – perilymfou, v níž je vlastní smyslový orgán – blanitý labyrint, tvořený dvěma váčky: vejčitým se třemi polokruhovými chodbami a váčkem kulatým, na který se napojuje hlemýžď. Blanitý labyrint je vyplněn tekutinou – endolymfou.

Hlemýžď: Je to vazivová, slepě končící trubička, tvořící 2,5 závitů. Je dělen dvěma membránami – vestibulární a bazilární membránou na tři části, horní a dolní prostor. Střední prostor nedosahuje až docela do vrcholu, horní a dolní prostory jsou tam spolu spojeny. Perilymfa přechází tedy ve špičce hlemýždě z horního prostoru do dolního. Oválné okénko je tedy vstupem do horního prostoru. Nad vlákny sluchového nervu, vybíhajícími daleko z bazilární membrány, jsou umístěny řasnaté buňky, tvořící sluchové receptory.

Cortiho orgán: soubor struktur v přepážce hlemýždě středního ucha. Nejdůležitější součástí jsou vláskové buňky (sluchové receptory), v nichž dochází k převodu mechanické energie zvukových vln na elektrický signál. Ten je z vláskových buněk předáván transmiterem na vlákna sluchového nervu.

Vedení zvukových vln

Boltec -> zvukovod -> bubínek -> kladívko -> kovadlinka -> třmínek -> oválné okénko - > perylimfa hlemýždě -> Cortiho orgán s vláskovými buňkami -> sluchový nerv -> mozek

Kmity kůstek: převodem se kmity zesílí až 30x, nepřesáhnou výkyvy třmínku1/20mm. Přenos kmitu kůstkami je mechanicky bezvadný: kůstky přestávají kmitat takřka současně se skončením zvuku, není tu žádný „dozvuk“. Tak dokonalé tlumení se dociluje tahem dvou malinkých středoušních svalů. Jeden se upíná na držátka kladívka a druhý na třmínek. Oba táhnou dovnitř středního ucha a tím celou převodní soustavu kůstek pružně tlumí. Kromě toho hlasité zvuky vyvolávají reflektonický stah těchto svalů, což je ochranou před poškozením vnitřního ucha silným zvukovým nárazem. Je to reflex velmi rychlý. Uskuteční se během 1 až 2 setin sekundy.

Kmity zvuků přecházejí zvukovodem, rozkmitají bubínek a sluchovými kůstkami se přenesou na oválné okénko. Kmity oválného okénka se přenášejí tekutinou (perilymfou) horního prostoru hlemýždě a v určitém místě blanité přepážky středního prostoru vyvolají maximální vzdutí (při běžné řeči se rovná zlomku milióntiny mm). Kulaté okénko svými výkyvy vyrovnává kmitání tekutiny v hlemýždi.

Vláskové buňky

(v každém uchu se jich nachází necelých 25 000, kdežto nervových vláken je v každém sluchovém nervu asi 30 000 i více)

Jsou to podlouhlé buňky spočívající dolními konci na bláně, která odděluje střední prostor od spodního. Horní konce vláskových buněk jsou zanořeny do pevné blány, která je svrchu kryje.Vlásky touto blánou pronikají a ční svými konci do další pružné, jakoby rosolovité přepážky, která leží nad pevnou blánou a odděluje tak vlásky od vlastního středního prostoru. Vlákna sluchového nervu se bohatě větví kolem každé vláskové buňky. Tento vlastní sluchový orgán se rozkládá po celé délce středního prostoru.

Vláskové buňky mění zvukové vlny na elektrické impulzy. Kmity stěny středního prostoru se přenesou na pevnou blánu, která kryje vláskové buňky a ta se tak posouvá vůči rosolovité přepážce, jež leží nad ní. Tím se ohýbají konce vlásků, které jsou do rosolovité přepážky zanořeny. Dál už jdou jen impulsy elektrické. Pro přeměnu zvukových vln na elektrické signály je využito rozdílů v rozložení iontů. Střední prostor blanitého hlemýždě má proti hornímu a dolnímu prostoru stálý klidový potenciál, který můžeme snímat mikroelektrodou. Také rozložení iontů je tu obdobné jako v nervové buňce: velká převaha iontů draslíku (K+) a nedostatek iontů sodíku (Na+). V horním a dolním prostoru je iontové rozložení obrácené, což odpovídá iontovému složení typickému pro mezibuněčnou tekutinu. Tyto rozdíly jsou nezbytné, mají-li vláskové buňky vůbec fungovat. Kdyby byla tekutina ze středního prostoru mikropipetou odsáta a nahrazena tekutinou z horního a dolního prostoru, vláskové buňky by byly nenávratně zničeny. I v hlemýždi udržuje iontová pumpa rovnováhu. Ohýbáním vlásků vzniká tzv. mikrofonní potenciál, můžeme jej snímat mikroelektrodou zavedenou do středního prostoru. Získáme tak slabounký elektrický proud, který reprodukuje přesně zvukové vlnění přicházející do ucha. I ze sluchového nervu v blízkosti hlemýždě můžeme tento proud snímat, dokonce I krátký čas po smrti zvířete, kdy klidový potenciál a ostatní nervová činnost už dávno vymizely.

Výška tónu

Krátké vlny (vysokého kmitočtu čili vysoké tóny) dosáhnou nejvyššího rozkmitu blízko oválného okénka. Čím delší je vlna (čím nižšího kmitočtu nebo čím hlubší je tón), tím blíže k vrcholu hlemýždě je její maximum. V místě největšího rozkmitu jsou nejvíce drážděny vláskové buňky. Vlnění z horního a dolního prostoru přenáší na tekutinu středního prostoru, jehož dolní blána se pak nejvíce vychýlí v místě maxima postupující vlny. V tomto místě je největší ohyb vlásků a nejvýraznější podráždění příslušné vláskové buňky. A tak výšku vnímaného tónu určuje to, jak daleko od oválného okénka jsou vláskové buňky nejvíce podrážděny: čím blíže k němu, tím vyšší tón je vnímán, čím dále, tím hlubší.

Hlasitost zvuku

Slabý zvuk vyvolává vzruch jen v malém počtu vláken (v místě nejvyššího rozkmitu membrán středního prostoru hlemýždě). Při zvětšující se hlasitosti zvuku jsou vzruchy v příslušných vláknech sousedních. Nejslabší zvuk, který ještě slyšíme, byl mezinárodní dohodou stanoven za nulový bod decibelové stupnice hlasitosti (10 dB). U pokusných zvířat se po dlouhodobém ohlušování objeví značný úbytek vláskových buněk a nervová vlákna sluchového nervu vykazují zvýšený práh dráždivosti. Vlákna sluchového nervu procházejí spodinou mozkovou a podkorovými centry přes několik synapsí. Ty představují jakási relé, ve kterých se mění kód elektrických informací (impulsů). Do mozku přicházejí jen shluky elektrických impulsů, oblasti mozkové kůry k tomu určené je musí vyluštit a vytvořit podle nich zvukový obraz.

Sluch zvířat

Echolokace: způsob orientace některých živočichů v prostředí. Využívají ji druhy s noční aktivitou nebo žijících v jeskyních či v kalné vodě(např. Některé druhy ryb, ptáků, savců – hmyzožravci, netopýři, delfíni). Živočich vydává zvuky (zpravidla ultrazvuky) a zachycuje jejich ozvěnu (echo), tj. Signál odražený od předmětu v prostoru.

Psi: různá plemena psů slyší různě. Většina plemen má velké ušní boltce. Ty jsou ovládány sedmnácti svaly, které umožňují jejich vzpřimování a natáčení tak, aby zachycovaly zdroj Každého zvuku. Sluch psa může registrovat až 35kHz a je tak citlivý, že odliší dva metronomy, z nichž jeden tiká stokrát a druhý šestadevadesátkrát za minutu. Pes také dovede své vnitřní ucho uzavřít tak, aby za všeobecného hluku oddělil ty zvuky, na které se chce soustředit. Psi se vzpřímenýma ušima (např. Německý ovčák) mohou uši natáčet, a tak zjišťovat směr zvuku. Psi s dlouhýma ušima ( např. Bladhaund) tuto schopnost nemají. Není známo, proč mají někteří psi dlouhé uši. Snad Byla tato vlastnost vyšlechtěna u loveckých psů pohybujících se v hustém podrostu, protože dlouhé ušní boltce zabraňují vniku cizích těles do zvukovodu. Jiná domněnka je, že dlouhé uši usměrňují pachové vjemy, které přicházejí ze země.

Ostatní zvířata: Kůň: má 17 svalů, které jsou schopny pohybovat ušima

Kočka: Vnímá zvuky o výšce až 25 kHz společně s morčetem vnímá zvuky desetkrát tišší než člověk

Delfíni a netopýři: Dorozumívají se ultrazvukem.

Zvuk

Zvuk jako energie

Zvuk je formou energie, která pochází z kmitání, například kytarových strun, lidských hlasivek nebo plátku v náústku saxofonu. Kmity vytvářejí v molekulách vzduchu vlny střídavě vysokého tlaku (zhuštění) a nízkého tlaku (zředění). Akustické vlny se šíří od zdroje všemi směry, a to v suchém vzduchu rychlostí 334 m/s. Šíří se i v jiných prostředích, např. ve vodě a v pevných látkách, a čím je prostředí hustší, tím se šíří rychleji. Pokud neexistuje medium, které by je mohlo přenášet, zvukové vlny se šířit nemohou. Vakuem se zvuk nepřenáší.
Stejně jako ostatní formy vlnového pohybu, má i zvuk vlnovou délku – vzdálenost mezi vrcholy následujících vln. Počet vln vzniklých za sekundu představuje frekvenci zvuku, která má hodnotu mezi 20 a 20 000 hertz (cyklů za sekundu), což je rozsah slyšitelný pro lidi. Frekvence čistého tónu udává jeho výšku. Amplituda zvukové vlny označuje odchylku od střední polohy a udává intenzitu zvuku.
Intenzita není totéž, co hlasitost, protože ta závisí také na frekvenci zvuku. Hlasitost udává množství akustické energie, která prochází danou oblastí za 1 sekundu. Měří se v decibelech.

Vznik zvuku

Zvuk vzniká vibracemi – od hluku motoru a automobilu až pohvízdání průvanu skrze okno. Hudební nástroje tuto skutečnost využívají. V bicích nástrojích, jako je buben nebo činel, kmitá plastická kůže nebo tenká vrstva kovu a při úderu tak vzniká zvuk. V houslích a podobných strunných nástrojích zvuk vzniká udržováním kmitů strun smyčcem. Tělo houslí nebo kytary působí jako rezonátor, chvěje se se stejnou frekvencí, jako je základní tón vytvořený strunou, a tak jej zesiluje. Tvar těla zajišťuje, že nástroj rezonuje na většině frekvencí ve svém rozsahu.
Výška (frekvence) zvuku kmitající struny závisí na třech jejích vlastnostech – tloušťce, délce a mechanickém napětí. Struna, která je silná, dlouhá nebo povolená, vytváří nižší zvuk než struna, která je silná, tenká či napjatá. Vysoké tóny na kytaře nebo houslích se hrají na tenčích strunách. K dosažení ještě vyšších tónů stlačuje kytarista nebo houslista struny na hmatníku, a tak je zkracuje. Změna tónu s napětím je jasně patrná, když hráč strunný nástroj ladí tak, že zvyšuje nebo snižuje napětí strun.
Zvuk z flétny, trubky či jiného dechového nástroje pochází od kmitajícího sloupce vzduchu. Ve vzduchu vzniká „stojatá vlna“ se střídavými uzly (kde se vzduch nehýbe) a kmitnami (body největší výchylky). Vyšší tóny vznikají silnějším fouknutím, čímž vznikají stojaté vlny s větším počtem uzlů. Stejně tak může hráč odkrýt otvory nebo stlačit klapky, čímž vibrující vzduchový sloupec zkracuje.
Když zvukové vlny narazí na přepážku, odrazí se. Ve velmi velké místnosti či sále, např. v katedrále, se zvuk odráží od stěn a stropu. Důsledkem toho je dozvuk, kdy posluchač slyší tentýž zvuk v několika lehce oddělených okamžicích v závislosti na tom, jak daleko se zvuk při odrazech šířil. Koncertní sály jsou stavěné speciálně s použitím povrchů, které zvuk absorbují, aby tak dozvuk minimalizovaly a každý z posluchačů slyšel zvuk v témže okamžiku.
Pokud je odrážející povrch velký a vzdálenější než zhruba 30 m od zdroje zvuku, odraz je vnímán jako ozvěna. U malé překážky nebo na okraji budovy se akustické vlny pouze ohnou a tento proces se nazývá difrakce. Tento jev vysvětluje, jak se zvuk může šířit i za rohy. Směr šíření akustických vln se také mění, když přechází z jednoho prostředí do jiného s rozdílnou hustotou. Tento jev je známý jako refrakce nebo lom.