

# Hallási illúziók 1

## A hallásról általában

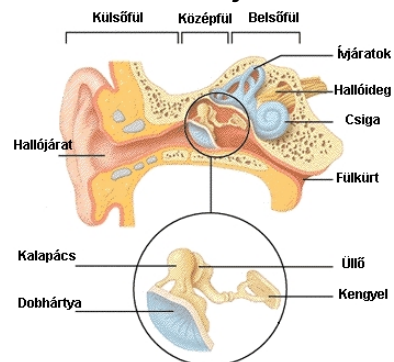
Kocsis Zsuzsanna  
 MTA TTK Kognitív Idegtudományi és  
 Pszichológiai Intézet  
 BME Kognitív Tudományi Tanszék

kocsis.zsuzsanna86@gmail.com

## A hallás anatómiája

- **Külső fül:**  
fülkagyló,  
hallójárat

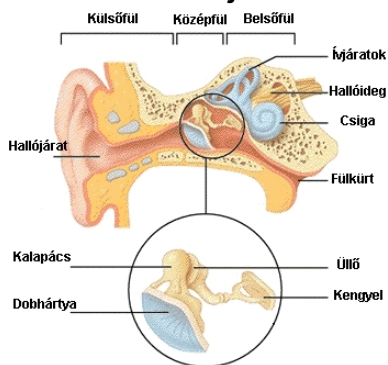
irányított  
mikrofon



## A hallás anatómiája

- **Középfül:**  
halló-  
csontocskák

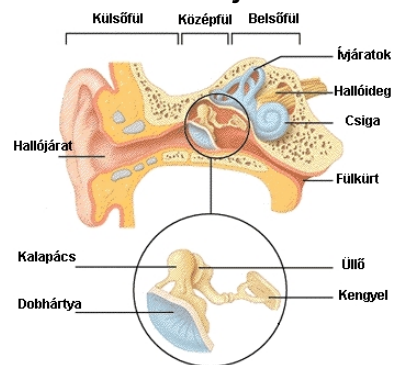
erősítés,  
túlterhelés-  
védelem



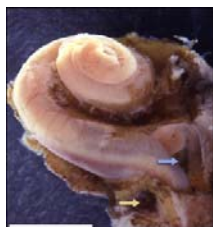
## A hallás anatómiája

- **Belső fül:**  
csiga

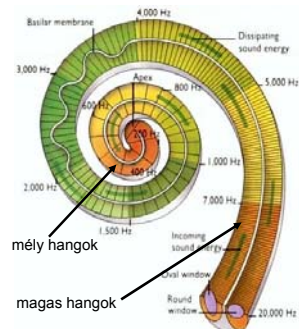
frekvencia-  
elemzés



## Csiga

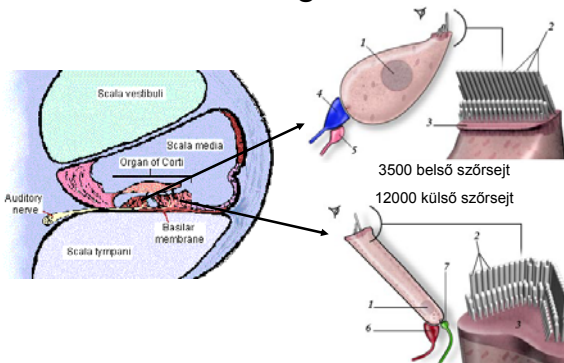


5 hónapos magzat csigája  
/cochlea.org/

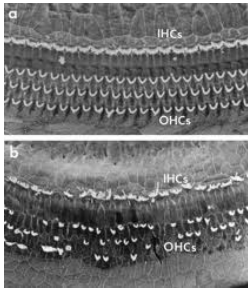


<http://www.blackwellpublishing.com/matthews/ear.swf>

## Csiga



## Szőrsejtek



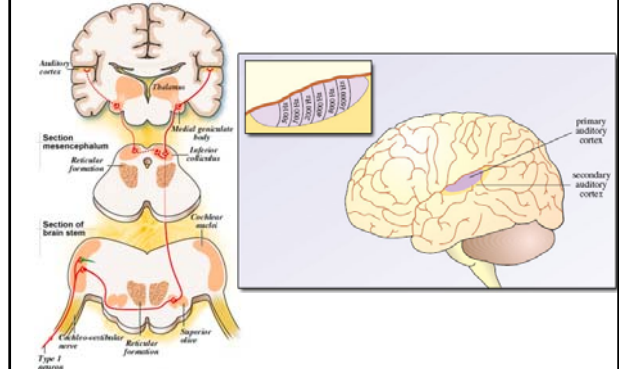
Egészséges szőrsejtek

Károsodott szőrsejtek

Külső szőrsejtek szerepe a hangok felerősítése

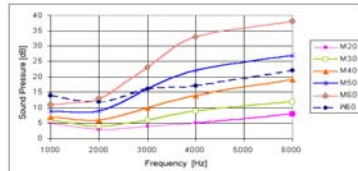
Belső szőrsejtek adják tovább az ingerületet az agyba

## Hallópálya és hallókéreg



## Hallási küszöb

- A hallásküszöb az a legkisebb hangnyomás, amelyet visszhangmentes, úgynevezett süketszobában a vizsgált személy fülével még éppen érzékel.
- Az egészséges ember hallásküszöbe a 2 kHz-es frekvenciánál 20  $\mu\text{Pa}$ .



## Látás és hallás

- Látás**
    - A tárgyról **visszaverődő** fényt érzékeljük
    - A különböző helyekről érkező fénysugarak a retina különböző részein képződnek le (retinotópia)
    - Ha a tárgy előtt átlátszatlan akadály van, akkor a tárgyat nem látjuk
    - Van statikusság (állókép)
  - Hallás**
    - A tárgyról **közvetlenül érkező** hangot észleljük (a tárgy maga kelti a hangot), + némi visszaverődés is van
    - Tonotópia a hallórendszer több részén
    - A fülbe általában egyszerre több tárgyról érkező hangok kerülnek be, amelyek egymással interferálhatnak
    - Ha akadály van a tárgy előtt az általa produkált hangot még jól halljuk
    - Nincs statikusság, minden állandóan változik (nincs „állóhang”)
- Másra használjuk a két rendszert (aki vak, kevésbé esik ki a társadalomból, mint aki süket – kommunikáció. Veszély felismerése → hallásnak nagyobb szerepe)

## Párhuzamos pályák a hangfeldolgozásban?

- Olyan mint a látásban a hol?/mi? pályák?

	Ventrális pálya MI?		Dorzális pálya HOL?	
Látás	Tárgyfelismerés	V1	Tárgylokalizáció Vizuálisan irányított cselekvés (tárgy megfogása)	Asszociációs vizuális kéreg
Hallás	Hangfelismerés Hang idői dinamikája ?Jelentés (e.g. Hickok & Poeppel 2000)	A1 (HG) Posterior STS Parietális területek	Hanglokalizáció, beszéd azonosítása ?Jelentés (e.g. Belin & Zatorre 2000)	Planum temporale, STG, STS

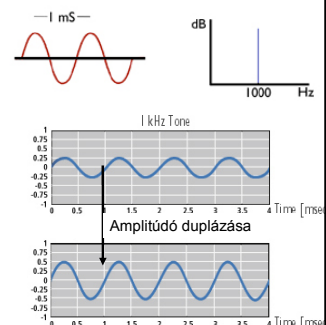
## Egyszerű hangok

- Nyomásváltozás szinuszos

- Pl. fütty, hangvilla

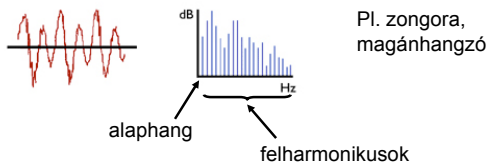
- Egyértelműen leírható:

- amplitúdóval:** legnagyobb kilengés mértéke
- frekvenciával:** kilengések gyakorisága
- (és fázissal:** időbeli eltolás)



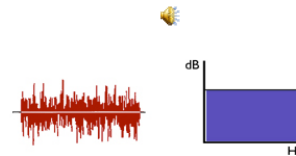
## Összetett hangok

- Időtartományban: periodikus, de nem szinuszos
- Frekvenciatartományban: alaphang + felharmonikusok
- Leírása: amplitúdó, (alap)frekvencia, **spektrumburkoló**



## Zajok

- Nem periodikus, véletlenszerű
- Fehér zaj: minden frekvenciából „egy kicsi”



## Egy hang észlelése

Érzeti jellemzők		Fizikai jellemzők
Hangmagasság	~	Alapfrekvencia
Hangosság	~	Amplitúdó
Hangszín	~	Spektrum burkoló és amplitúdó burkoló

## A szubjektív hang

- A pszichoakusztika vizsgálja
- A hallott hang élménye nem közvetlenül hozzáférhető
- A hallott hang a hang fizikai jellemzői és a hallórendszer kölcsönhatásából jön létre.
- A hallott hang egyes paraméterei is kölcsönhatásban állnak egymással (pl: ha hangosabban beszélek, az összes frekvencia hangosabb lesz)

## A hang főbb jellemzői: Hangmagasság

- 1. szabály:** minél nagyobb a frekvencia, annál magasabb a hang – ha minden más változatlan

Emberi hallás frekvenciatartománya: **20Hz-20kHz**

A hangnyomásszintet Decibel-ben szokás megadni:  
 $dB = 20 \log_{10}(p_1/p_0)$

## A hang főbb jellemzői: Hangmagasság

- Tiszta szinuszos hangok esetében a frekvencia határozza meg az észlelt hangmagasságot (magas és mély hangok)
- Ritka, ha valaki egy adott zenei hangnak a magasságát viszonyítás nélkül felismeri, abszolút hallás szükséges hozzá
- Komplex hangok esetében nemcsak a fizikai tulajdonságok határozzák meg (pl. hiányzó alapharmonikus)
- A hangszín is befolyásolhatja (ugyanaz a zenei hang magasabbnak tűnhet, ha hegedűn szólal meg, mintha nagybőgőn)



<http://psych.hanover.edu/JavaTest/Media/Chapter11/MedFig.DurationTone.html>

## Hangmagasság

**2. szabály:** alacsony frekvenciákon érzékenyebbek vagyunk a frekvenciakülönbségekre, mint magas frekvenciákon

300 → 350 Hz ≠ 3000 → 3050 Hz

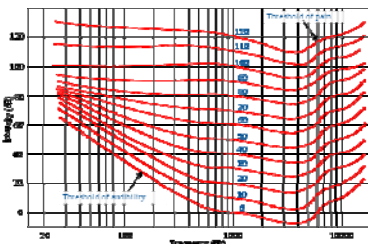


Frekvenciakülönbség: ugyanakkora  
Hangmagasság-különbség: nem ugyanakkora

## Hangosság

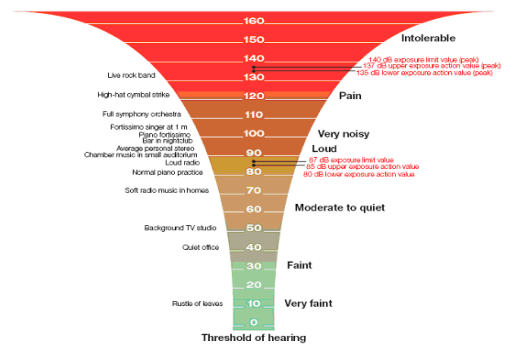
- a hang fülünk által érzékelt intenzitásának, erősségének mértéke
- Szoros kapcsolatot mutat a hangnak mint rezgésfolyamatnak az intenzitásával, amplitúdójával, illetve függ a hang összetételétől, spektrumától, zenei hang esetén magasságától.

## Phon görbék



Az x tengely a frekvenciát ábrázolja Hz-ben, az y a hangnyomásszintet dB-ben. A görbék az azonos hangosságúnak érzékelt helyeket mutatják. A legelső vonal a hallásküszöb. Középen vannak feltüntetve a phon-értékek.

## Hangosság



➤ Az észlelt hangosság azonban nemcsak a frekvenciától függ

➤ Hangosság szummáció

➤ A példában párban lehetett hallani a hangokat, az 1. 20 ms-ról 500 ms-ig nőtt, a 2. mindig 300 ms volt

➤ A hang hossza befolyásolja, hogy milyen hangosnak halljuk (rövidebbet halkabbnak), ez 200ms-os tartományon belül igaz

➤ Miért?

➤ Az agy a hang energiájára vonatkozó információt ~ 200 ms-os idői ablakban integrálja (a hang kezdetétől), az az idői integrációs ablak (temporal window of integration)

➤ Ebben a ~200 ms hosszú idői ablakban zajlanak olyan transzformációk, amelyek kiemelik a hang alapvető tulajdonságait, és alapot képeznek a további feldolgozáshoz.

## Hangosság

a hangosságot erősen befolyásolja a frekvencia – egy közepes frekvenciájú jel hangosabb, mint egy ugyanolyan amplitúdójú, de magas vagy alacsony frekvenciájú jel

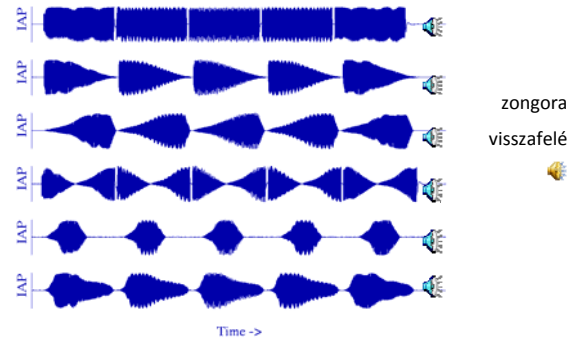
**125 Hz, 3000 Hz, 8000 Hz**



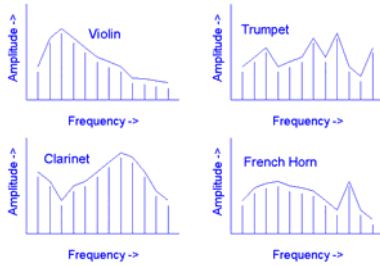
## A hang főbb jellemzői: Hangszín

- „Az összetett hangok azon tulajdonsága, amelynek alapján az azonos erősségű és alaphangfrekvenciájú hangok egymástól megkülönböztethetők. A hangszín függ az **alaphanghoz tartozó, s azzal egy időben megszólaló felhangok számától és erősségétől, az alaphang fázisától és a rezgés alakjától**. Az emberi hallószerv a hangszín alapján is képes megkülönböztetni a különböző hangjelenségek eredetét.”
- A természetben ritkák a tiszta hangok
- A hangoknak egy minőségbeli eltérése a hangszín
- Függsz a hangforrás méretétől, anyagától, tömörségétől (üreges v. nem), megszólaltatás módjától
- Beszédhangok esetében a hangszínt elsősorban a hangképzés szervek anatómiája és a hangképzés módja határozza meg

## Hangszín – amplitúdó burkoló



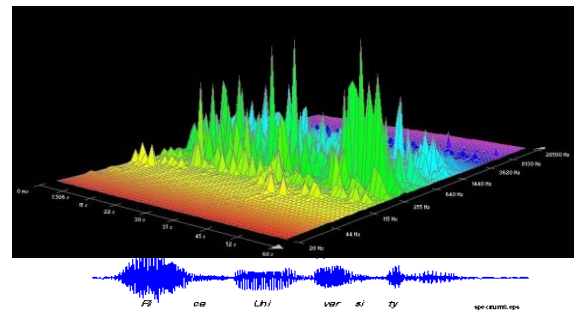
## Hangszín



Különböző spektrum burkolók

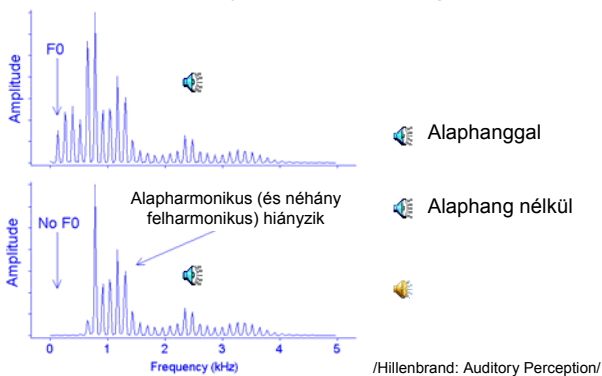
- Hangszerek hangja elsősorban hangszínből különbözik
- Magánhangzók: hangszín alapján különböztetjük meg
- Spektrum burkoló és amplitúdó burkoló határozza meg

## Spektrum



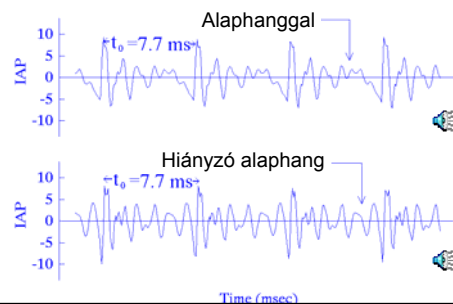
Hangenergia-eloszlás a frekvencia-tartományban, az idő függvényében.

## Hiányzó alaphang



## Hiányzó alaphang

- Ha nincs alaphang, akkor mi határozza meg a hangmagasságot?



## Hiányzó alaphang

**A hallórendszer nem az alaphangot határozza meg, hanem azt, hogy a jel milyen gyorsan ismétlődik**

**Telefon:** 300-3400 Hz átvitele, de felnőtt beszéd alaphfrekvenciája kb. 100-200 Hz  
→ alaphang elveszik, de a beszéd érthető marad

## Problémák

Koktélparti helyzet

[http://www.cis.hut.fi/projects/ica/cocktail/cocktail\\_en.cgi](http://www.cis.hut.fi/projects/ica/cocktail/cocktail_en.cgi)

Hogyan tudom „kiszűrni” a barátom hangját a többi közül?



## Hallási jelenet elemzés

- Albert Bregman (1990)
- Az emberi hallórendszer egy bonyolult hallási környezetben is képes elkülöníteni hangokat, zajokat. Az elkülönülő hangcsoportokat *hangláncoknak* nevezzük. A hanglánc a hallás „tárgya”, nem feltétlenül egy hangból áll, lehet pl. egy vonatút összes zaja.
- A hallási jelenet elemzés arra keres magyarázatot, hogy milyen tulajdonságok, vagy tulajdonság-kombinációk (pl. ismétlődő mintázat) alapján szervezi hallási láncokká a hallórendszerünk a hangokat.

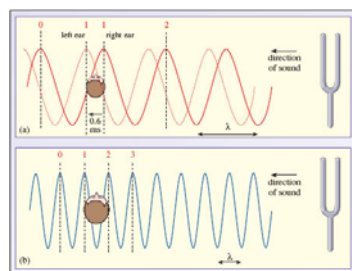
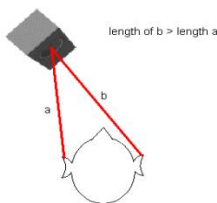
## Több hang észlelése: hallási jelenet elemzés

- Milyen hangforrások (tárgyak)?  
– lokalizáció
- Milyen hangmintázatok (láncok)?  
– akusztikus láncra bontás

## Lokalizáció

Alacsony frekvenciákon:

**Fülek közötti időkülönbség**



/openlearn.open.ac.uk, William Dell/

## Lokalizáció

Magas frekvenciákon:

**Fülek közötti intenzitáskülönbség**

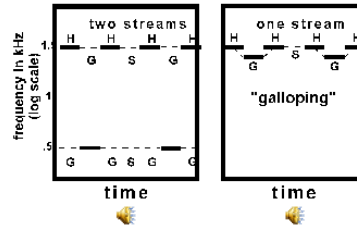


/openlearn.open.ac.uk, William Dell/

## Akusztikus láncra bontás

- A hangokat egy vagy több láncként észleljük, ez a hallórendszer sajátossága.
- Függ:
  - a hangsorok bemutatási sebességétől (minél gyorsabb, annál inkább szétválik)
  - a hangsorok közötti hangmagasság-különbségtől.
  - a hangszintől 🗣️
  - kisebb mértékben a hang irányától ill. hangerejétől is. 🗣️
- A láncbontás nem mindent vagy semmit jellegű, a hang tulajdonságaitól függően tudatosan is irányítható, ill. bistabil állapotba kerülhet.

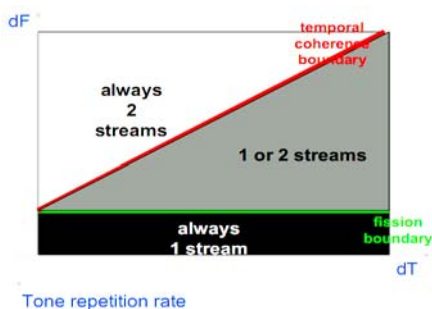
## Akusztikus láncra bontás



- Nagy frekvenciakülönbség      Kis frekvenciakülönbség
- ➔ Lassú váltakozás: egy lánc
  - ➔ Gyors váltakozás: két lánc

/Bregman 1990/

## Akusztikus láncra bontás

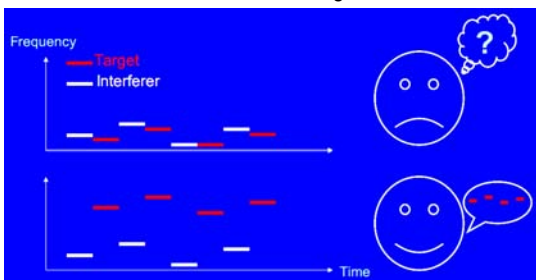


## Van Noorden paradigma

- Fission boundary alatt egy hangláncot hallunk – egy csoportba csoportosítjuk a hangokat.
- csak igen kis mértékben függ az egymást követő ingerek bemutatási sebességétől (TRT)
- Temporal coherence boundary fölött két hangláncot hallunk: két csoportba soroljuk a hangokat a frekvenciájuk alapján
- Automatikus folyamatok
- A fission boundary fölött, de még a temporal coherence boundary alatt a percepciót a bemutatási sebesség befolyásolja (lassabb bemutatási sebesség → integrált percepció, gyorsabb bemutatási sebesség → szegregált percepció, akarattal befolyásolható)

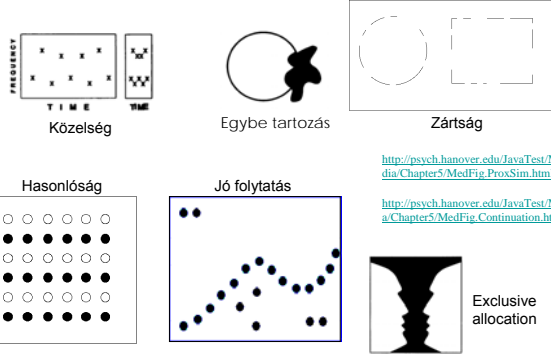
## Akusztikus láncra bomlás

**Összefésült dallam** 🗣️ minden második hang egy dallam része; többi hang: véletlenszerű



/Christophe Micheyl, oow.mit.edu/

## Gestalt elvek Bregman elméletében



<http://psych.hanover.edu/JavaTest/Media/Chapter5/MedFig.ProxSim.html>

<http://psych.hanover.edu/JavaTest/Media/Chapter5/MedFig.Continuation.html>

## MP3: elfedési jelenség

*Amit úgyse hallunk,  
azt ne is tároljuk*

→ 10-szeres tömörítés,  
alig észlelhető  
minőségromlás

- Szűrőkészlet
- Elfedési jelenség  
(bitmélység  
beállítása)
- Térbeli lokalizáció  
korlátai  
(összevont sztereó)

