

Lyd og de indre hårceller

Den biologisk menneskeskabte lyd – talen, sangen, skriget, skrålet, hvæset, brummet, grinet, o.s.v. beskrives målemæssigt bedst igennem et spektrogram.

Den menneskelige stemme overgår alle kunstige instrumenter i versatilitet og udtryk. Til detektion af denne menneskeskabte lyd (fonetik) har udviklingen frembragt/videreudviklet en særlig frekvensfølsom del af hørelsen, nemlig de indre hårceller.

Vi er så vant til, når vi taler musik, at fokusere på tonens frekvens og et mindre antal overtoner, som gør det hele let og overskueligt, men det er ikke så enkle signaler vores indre hårceller er indrettet til. Næh, den er bestemt til at behandle mange, rigtig mange toner på én gang. Belastes vores høreelse med en enkelt tone, skal den ikke være så forfærdelig høj i niveau før de indre hårceller fejler i deres detektion af tonen.

Nyfødte børns skrig er forskellige afhængige af om de ligger varmt og godt hos moderen eller er adskilt fra hende. I sidste tilfælde taler man om særlige højfrekvente separationsskrig, hvis frekvensområde rækker langt ind i det ultrasoniske område. Smart nok egentlig, for deres udbredning fra barnet er mindre på grund af luftens absorption, så det forhåbentlig vil hidkalde moderen og ikke et fjendtligt dyr.

Dette nyligt undersøgte fænomen understreger, da mænd ikke kan være mødre, at der meget vel kan findes en biologisk forklaring på kvinders "afsky" for højttalergengivelse.

De indre hårceller skal ses i deres helhed og naturlige underafdelinger - Barks.

Dem er der 24 af hver indeholdende 150 hårceller i en nydelig række, så den enkelte hårcelle sidder på en bestemt "frekvensplads"

Inden for en gruppe på 150 indre hårceller påvirker de hinanden, lidt à la omkring resonansfrekvensen på en højttaler. Nabofrekvenser til resonansfrekvensen leverer energi til den, så de selv bliver "overhørt".

Dette kaldes "maskering", når vi taler høreelse.

Altså:

Lyde der i frekvens ligger tæt på en med kraftigt niveau vil ikke selv blive hørt, men vil blive brugt til at bestemme "styrken" af den med det kraftige niveau.

Dette kan udnyttes i datareduktion som f.eks. MP3, da kun information om den kraftige lyd behøver at blive lagret. (styrken kan bestemmes direkte)

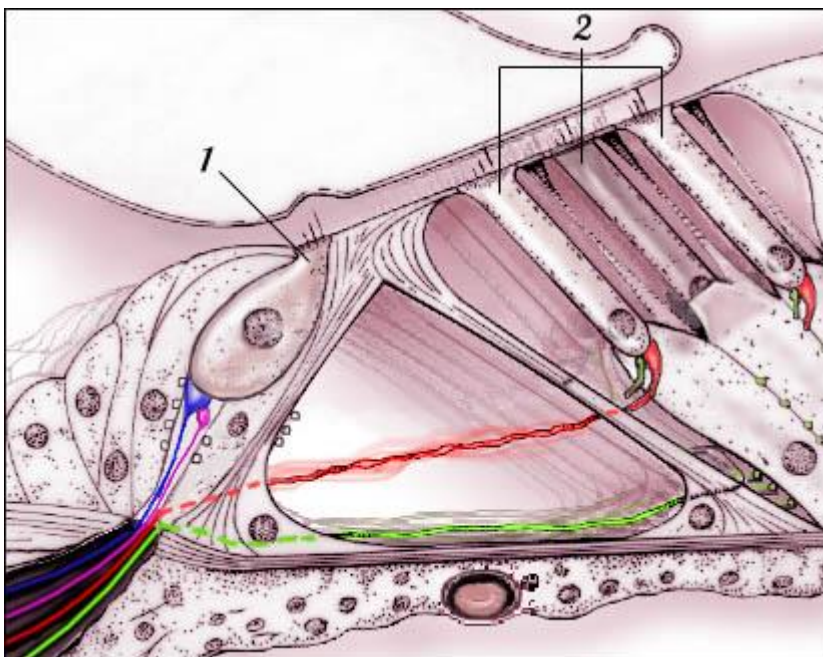
Det skal her understreges at der altså kræves en kraftigere lyd.

En sådan haves ved lydtryk over 40 dB SPL., der er det maksimale lydtryk, en enkelt hårcelle kan behandle selvstændigt.

Inden vi går videre, var det måske på sin plads at få lidt basal viden om de **indre** hårceller.

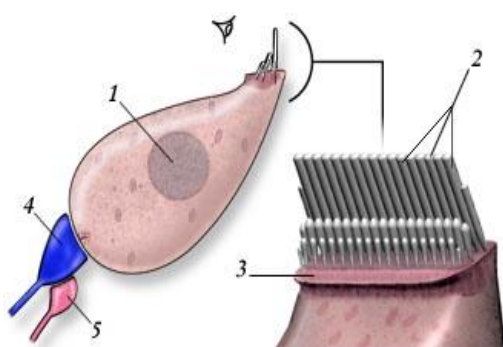
Sidst så vi nærmere på de ydre hårceller, som havde et antal af 12000 placeret i 3 rækker på den basilare membran i øresneglen og forbundet med kun 5 % af nerverne fra Cochlea.

De indre hårceller optager altså 95 % af neuronerne (nervecellerne) fra cochlea, og det på trods af deres ringere antal (3600). Joh! De indre hårceller vægtes meget, men er altså bare ikke det hele, selv om de er udnævnt til ligesom at være det.

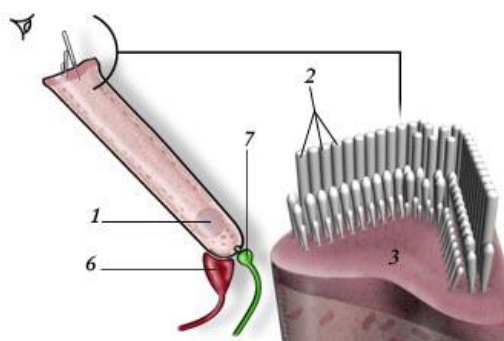


Billedet viser Arch of Corti (trekanten midt i billedet) hvis nederste del er kanten af den basilare membran. Den tynde hinde fra Corti's spids der beskytter hårcellerne kaldes reticular lamina. Bemærk at den yderste af de ydre hårceller IKKE er helt tæt forbundet til den. (et mekanisk filter?)

1. indre hårcelle



2. ydre hårcelle



Tallet 2 udpeger de fimrehår, der registrerer væskebevægelserne fremkaldt af vibrationerne på den basilare membran.

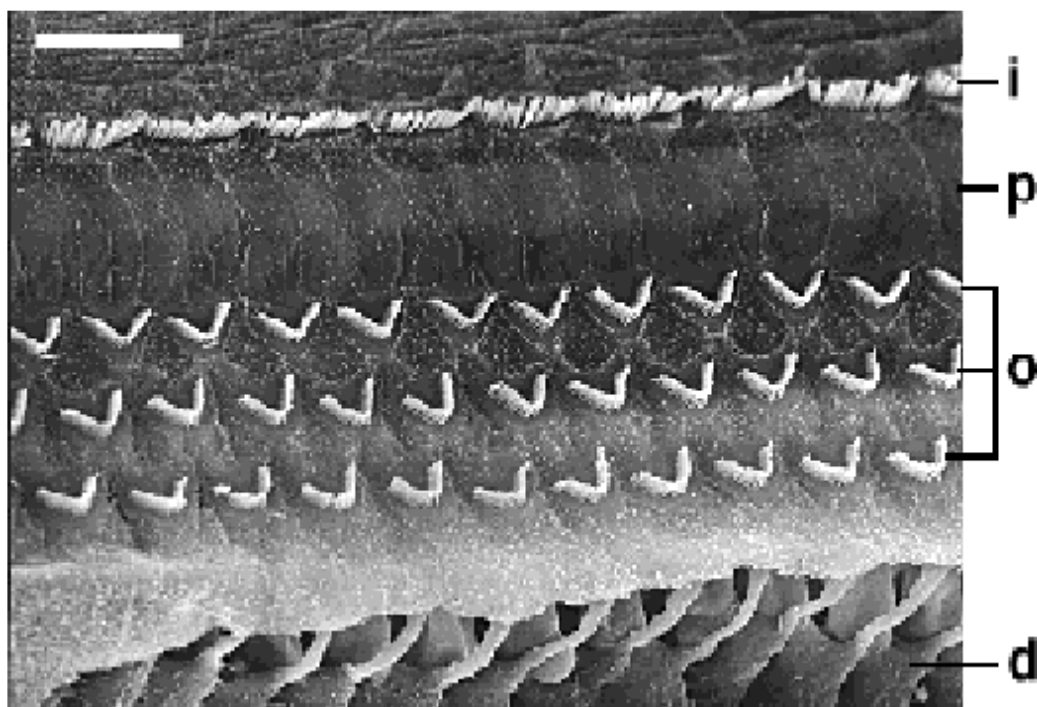
Tallet 1 er cellekernen

Tallet 3 den tynde hinde reticular lamina forlængelse af arch of corti som stereocillia er ført igennem.

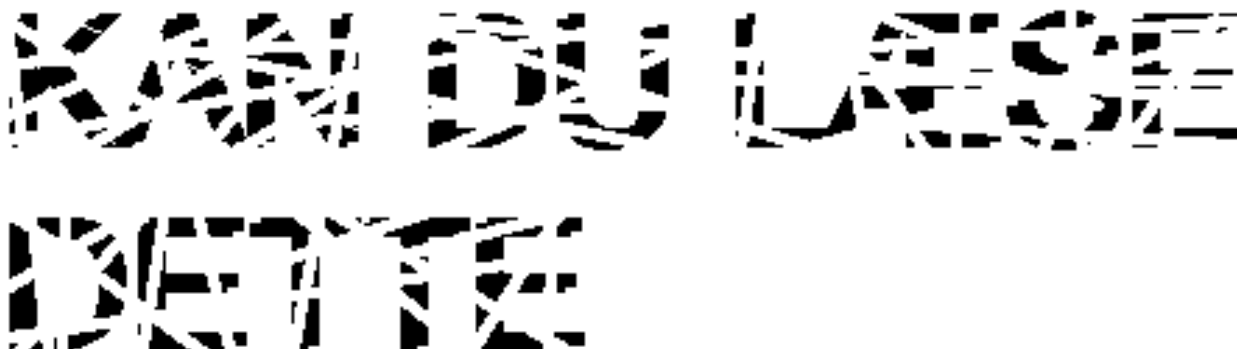
Tallene 4-7 neuroner.

Billedet på næste side er optaget med et elektromikroskop og viser overfladen af den reticular lamina med dens rækker af ydre (3) og indre hårceller (1).

Bemærk farveskiftet til den yderste række af ydre hårceller.
 Den basilare membran, som de viste stereocillia er forbundet til igennem Arch of Corti, ligger altså under den viste hinde. (reticular Lamina)



Den basilare membran er en slags frekvensanalysator, der fysiologisk set direkte kan detektere frekvenser fra 50 Hz til 24 kHz. De højere frekvenser hører barn/ungdommen til. Som voksen må man lade sig nøje med mindre, da følsomheden for den øverste oktav efterhånden bliver svækket. Men hvad opad tabes må nedad vindes igennem en bedre udnyttelse af de informationer man nu engang modtager. Hvad nytter det at kunne alle bogstaverne, hvis man ikke kan læse ord med samtidig brug af mere end 7-8 stykker. Ordbilleder kaldes begrebet inden for læsning. De enkelte bogstavers betydning minimeres, medens en mere generel total form træder i stedet. En evne der ikke hører ungdommen til.



Vores hørelse er konstant under uddannelse, da input fra cochlea er under konstant ændring på grund af den hårde belastning den i vores støjende omgivelser er udsat for. Samt dens almindelige forfald.

Vores hørelse er fuld af paradokser og besynderlige evner, som vi faktisk ikke forstår særlig godt - om overhovedet. Vi har ved et tidligere møde fået demonstreret, at vi "ser" temmelig godt med

ørerne, medens vores syn ikke er brugbart til at høre med. (mundaflæsning er det eneste, jeg lige kan komme i tanke om)

Artiklen her må jeg desværre dele i to, da klubbens højtalere er tidkrævende at få bygget om, den skal føres up to date, med alt nyt fundet frem til.

Det paradoks, som jeg vil fokusere på, er det ganske enkle:

”Hvordan kan vi høre frekvenser under 50 Hz, når der IKKE er hårceller til at detektere dem?”

Artiklen vil gå vidt – meget vidt – i et forsøg på at vriste information ud af data, der tilsyneladende ikke indeholder disse, at føre metoden videre helt ud, for derved at vise, at betragtningsmåden kan forklare andre af hørelsens paradokser.

Den skal altså ikke læses som videnskabelige facts, men som en tour de force ud i en dybere forståelse af vores hørelses mulige mekanik.

Det er logisk nok, at en sådan direkte detektering af meget dybe toner ville skabe problemer. Vores indre kropslyde består af en lavfrekvent ”larm” af:

Hjertets slag, tarmenes rumlen, vores gangs stød imod asfalt, vore kroppes svulp og stød under kærlighedsakten, slåskampe, sportsudøvelser m.m. I sandhed en larm, der ville være uudholdelig at høre på. Så vores hørelse har indrettet sig anderledes. Den kan høre LF udefra men ikke den indefra. Man slås af stumhed over den genialitet, som millioner af års udvikling har bragt i anvendelse over for lydens fysiske realitet i vort indre øre og dens evne til at hente fuld information af stærkt filtrerede signaler. Men det kan den altså.

Tricket baserer sig på modulation.

Uden at kende særlig meget til det på teknisk niveau, går det ud på, at når flere toner udsendes samtidig, vil ulinearitet i lydens transport i instrument, luft, højtaler, rum og ører fremkalde sidefrekvenser i et forholdsvist stort antal.

Taget meget enkelt vil ulineariteten ud fra tonen 200 Hz og 300 Hz frembringe en sumtone på 500 Hz og en differens tone på 100 Hz - i alt 4 toner.

Tre toner 200, 300 og 750 Hz vil danne 500, 950, 1050, 100, 550 og 450 Hz i alt 9 toner.

Fire bliver til 16, 5 til 25, 6 til 36 osv.

At lyd samtidig interfererer øger blot kompleksiteten, så to mennesker der sidder ved siden af hinanden kan siges IKKE at høre det samme., selv om de med rette kan påstå, at de gør det.

Nej det er ikke nemt.

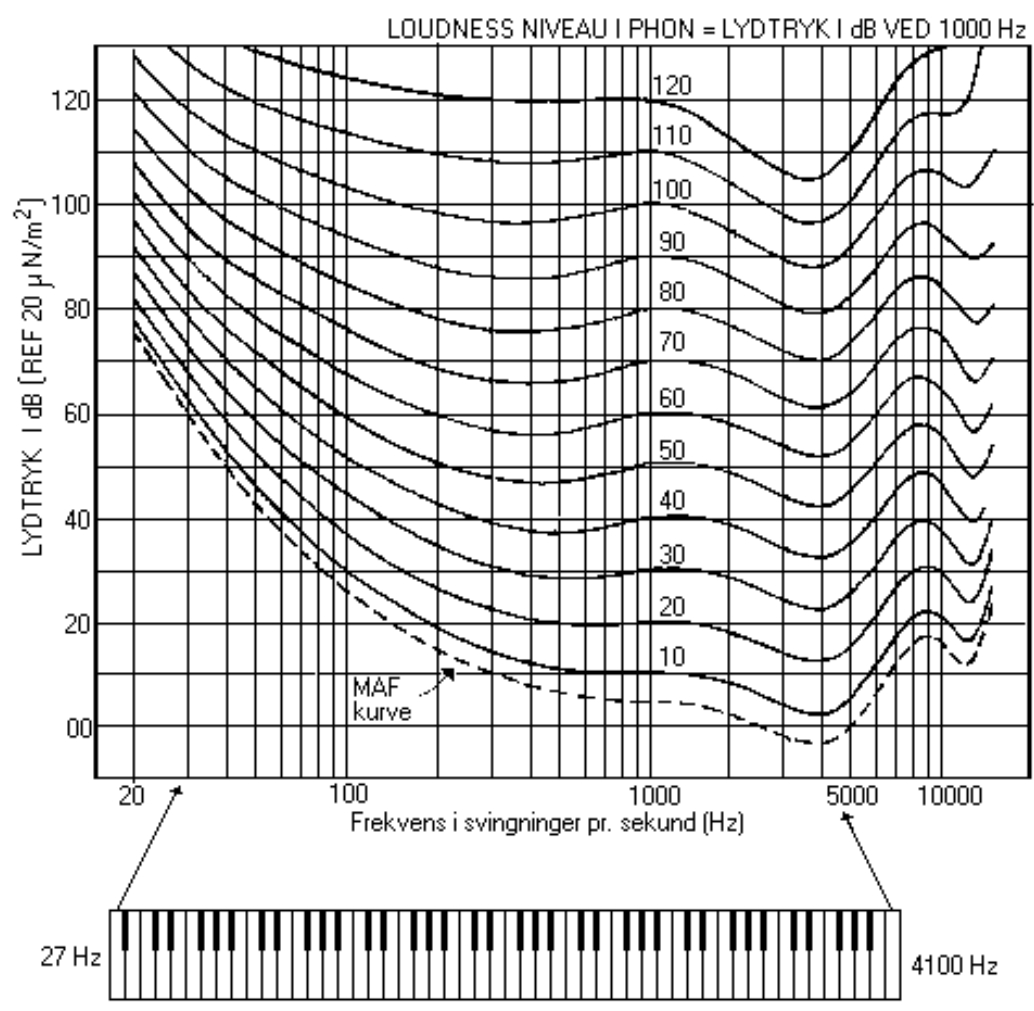
Vores høresans har fundet veje igennem disse tilsyneladende uoverstigelige problemer.

BARKS.

Hårcellerne er opdelt i 24 barks. Der er 150 hårceller pr. bark så $150 \cdot 24 = 3600$ hårceller.

Bark nr. 0.	0-100	1.00463	I denne Bark er den faktiske registrering dog
Bark nr. 1.	100-200	1.00463) fra 50 Hz
Bark nr. 2.	200-300	1.0027)
Bark nr. 3.	300-400	1.00192) hertil er 1 bark = 100 Hz (lineær skala)
Bark nr. 4.	400-510	1.00162) videre op logaritmisk skala
Bark nr. 5.	510-630	1.001878	
Bark nr. 6.	630-770	1.0013387	
Bark nr. 7.	770-920	1.001187	

Bark nr. 8.	920-1080	1.0010695
Bark nr. 9.	1080-1270	1.001081
Bark nr. 10.	1270-1480	1.0010207
Bark nr. 11.	1480-1720	1.0010024
Bark nr. 12.	1720-2000	1.001006
Bark nr. 13.	2000-2320	1.0009899
Bark nr. 14.	2320-2700	1.0010117
Bark nr. 15.	2700-3150	1.0010282
Bark nr. 16.	3150-4400	1.00223
Bark nr. 17.	4400-5300	1.0012415
Bark nr. 18.	5300-6400	1.001258
Bark nr. 19.	6400-7700	1.0012336
Bark nr. 20.	7700-9500	1.0014
Bark nr. 21.	9500-12000	1.0015586
Bark nr. 22.	12000-15000	1.0014887
Bark nr. 23.	15000- ???	I Denne Bark er den fysiologiske højeste frekvens 24000 Hz



Kurven er jfr. Robinson og Dadson.

Tallet til højre er et udtryk for frekvensafstanden fra hårcelle til hårcelle i den enkelte bark, idet frekvensen for den næste hårcelle nås ved at gange en frekvens med tallet og gange resultatet af den udregning igen og så fremdeles.

Eks. bark 0.

Hårcelle 50 Hz. Næste hårcelle $50 \cdot 1.00463 = 50.2315$ $\cdot 1.00463 = 50.464$ $\cdot 1.00463 = 50.698$ osv.

Forskellen i frekvens fra hårcelle til hårcelle her. 0,2315 og 0,232 og 0.234 osv angiver den laveste modulationsfrekvens vores hørelse er i stand til at detektere.

Det beregnede passer fint med målte data.

Men det var jagten på detektion af bas under 50 Hz der var målet. Så vi fortsætter på samme måde med alle 3600 hårceller, og det giver en graf, hvor x-aksen er grundfrekvens og kurverne viser forskellen imellem 2,3,4,5,6 hårceller. Altså y-aksen er også en frekvensakse.

Det kræver en del arbejde ved computeren for at få disse kurver frem, så jeg vil slutte hér for denne gang, med en sidste kurve for vores hørelse af lyd og tale.

Bemærk MAF-kurven.

