

Puheen tuotto ja havaitseminen II

Konsonantit

Martti Vainio

Fonetiikan laitos, Helsingin yliopisto



Artikulatoriset piirteet

- Konsonantit voidaan jakaa luokkiin sen mukaan *miten* ja *missä* kohtaa ääniväylää.
- Tällaisia jaottelevia luokkia kutsutaan *artikulatorisiksi piirteisit* (articulatory features).
- Esimerkkejä luokista ovat esim. approksimantit ([l], [j], [ɥ]) ja nasaalit ([m], [n], [ŋ]).



Piirteiden tyypit

- Artikulatoriset piirteet jaetaan kolmeen tyyppiin:
 1. Artikulaatiotapa (manner)
 2. Artikulaatiopaikka (place)
 3. Sointi (voicing)
- Huom: Suomen konsonantit on esitelty Luennon 2 monisteessa.



Artikulaatiotavat

- Yleisimmät artikulaatiotapaan viittaavat piirteet ovat:
 - Approksimantti (approximant, glide, semivowel)
 - Klusiili (stop, plosive)
 - Nasaali (nasal)
 - Frikatiivi (fricative)

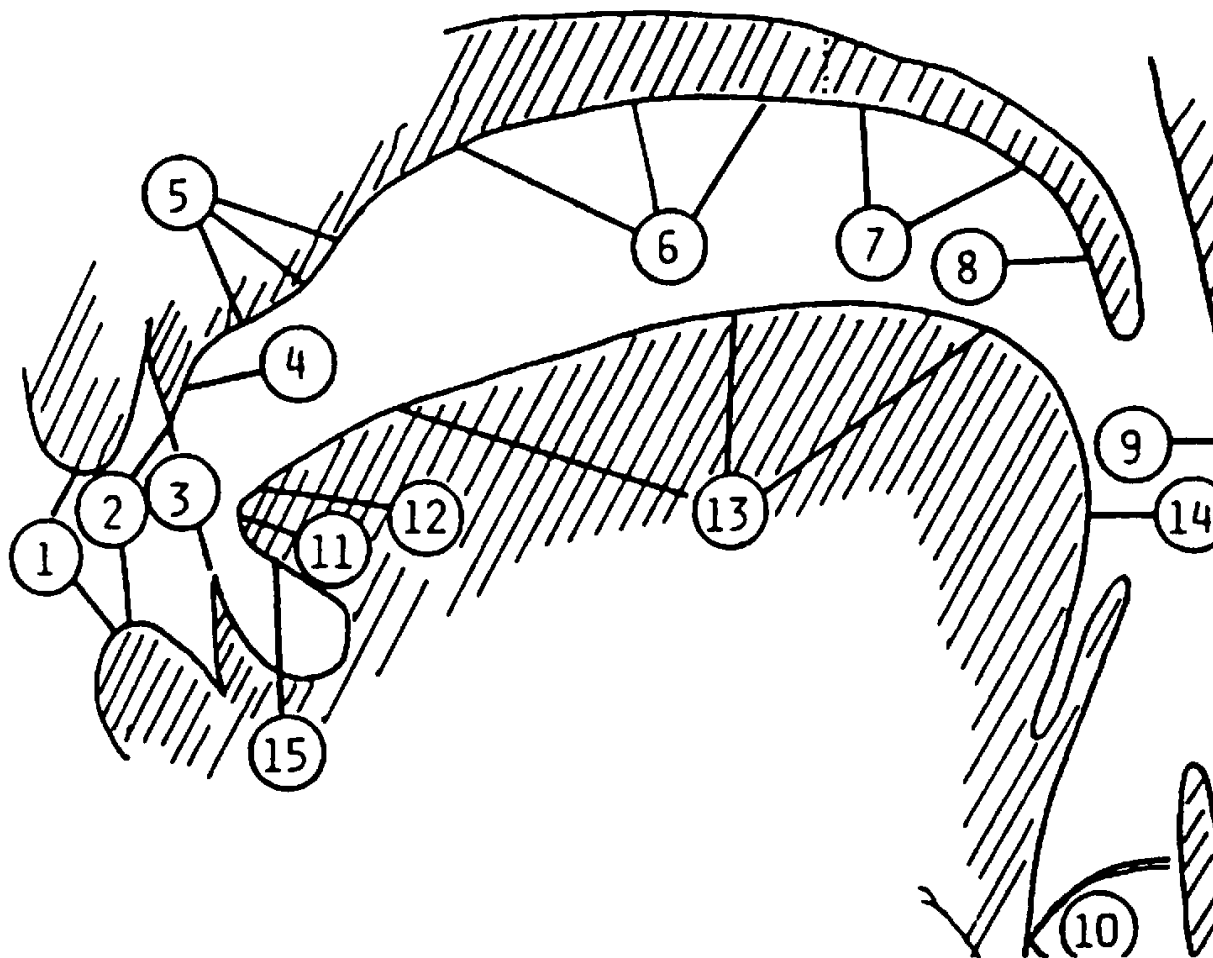


Artikulaatiopaikat

- Artikulaatiopaikat jaetaan karkeasti kolmeen:
 - Labiaalinen
 - Alveolaarinen
 - Velaarinen
- Näiden lisäksi on vähemmän yleisiä artikulaatiopaikkoja ja ne itse voidaan jakaa edelleen; esim. *post-alveolaarinen*.



Artikulaatiopaikat ääniväylässä



Artikulaatiopaikat:

- | | | |
|-----|---------------------|----------------------------|
| 1. | huulet | (bi)labiaalinen |
| 2. | huulet + ylähampaat | labiodentaalinen |
| 3. | hampaat | dentaalinen |
| 4. | hampaiden takapinta | post-dentaalinen |
| 5. | hammasvalli | alveolaarinen |
| 6. | (kova) kitalaki | palataalinen |
| 7. | kitapurje | velaarinen |
| 8. | nielu | faryngaalinen |
| 9. | nielu | faryngaalinen |
| 10. | kurkunpää | faryngaalinen |
| 11. | kielen kärki | apikaalinen |
| 12. | kielen lapa | koronaalinen, laminaalinen |
| 13. | kielen selkä | dorsaalinen |
| 14. | kielen tyvi | radikaalinen |
| 15. | kielen alapinta | sublaminaalinen |



Konsonantit

- Konsonantit eroavat vokaaleista pääasiassa kahdella tavalla:
 1. Ääniväylän muodon perusteella; yleensä konsonanteilla väylä kapenee voimakkaammin ja kapeuma voidaan tuottaa useampaan paikkaan.
 2. Äänilähteen perusteella; vokaalit ovat aina periodisia – konsonantit ovat periodisia, aperiodisia tai niiden yhdistelmiä.



Kapeuman aste

- Konsonanttien aikaset ääniväylän kapeumat (constriction) ovat siis vokaaleja suuremmat.
- Puolivokaalien kohdalla kapeuma asteeltaan tiukkojakin vokaaleja suurempi, frikatiivien aikana lähes kiinni ja klusiileilla kokonaan kiinni.



Eri tyyppiset piirteet

- Tietyt *akustiset* ja *artikulatoriset* piirteet puheessa korreloivat keskenään.
- Toisaalta kuulijat erottavat äänteet toisistaan akustisten piirteiden perusteella.
- Akustisten, artikulatoristen ja *perkeptuaalisten* piirteiden keskinäiset suhteet muodostavat pohjan teorialle ns. *distinktiivisistä piirteistä* (distinctive features).



Distinktiiviset piirteet

- Distinktiivisten piirteiden teoria muodostaa kategorioita eri foneemeille.
- Näillä kategorioilla pyritään kattamaan kaikkien kielten kaikki äänteet.
- Jokainen distinktiivinen piirre perustuu kolmella tasolla tehtävään lingvistiseen analyysiin:
 1. Kielensisäisiin perkeptuaalisiin distinktioihin.
 2. Näitä vastaaviin akustisiin piirteisiin ja
 3. niiden artikulatoriseen alkuperään.



Konsonantit artikulaatiotavan mukaan

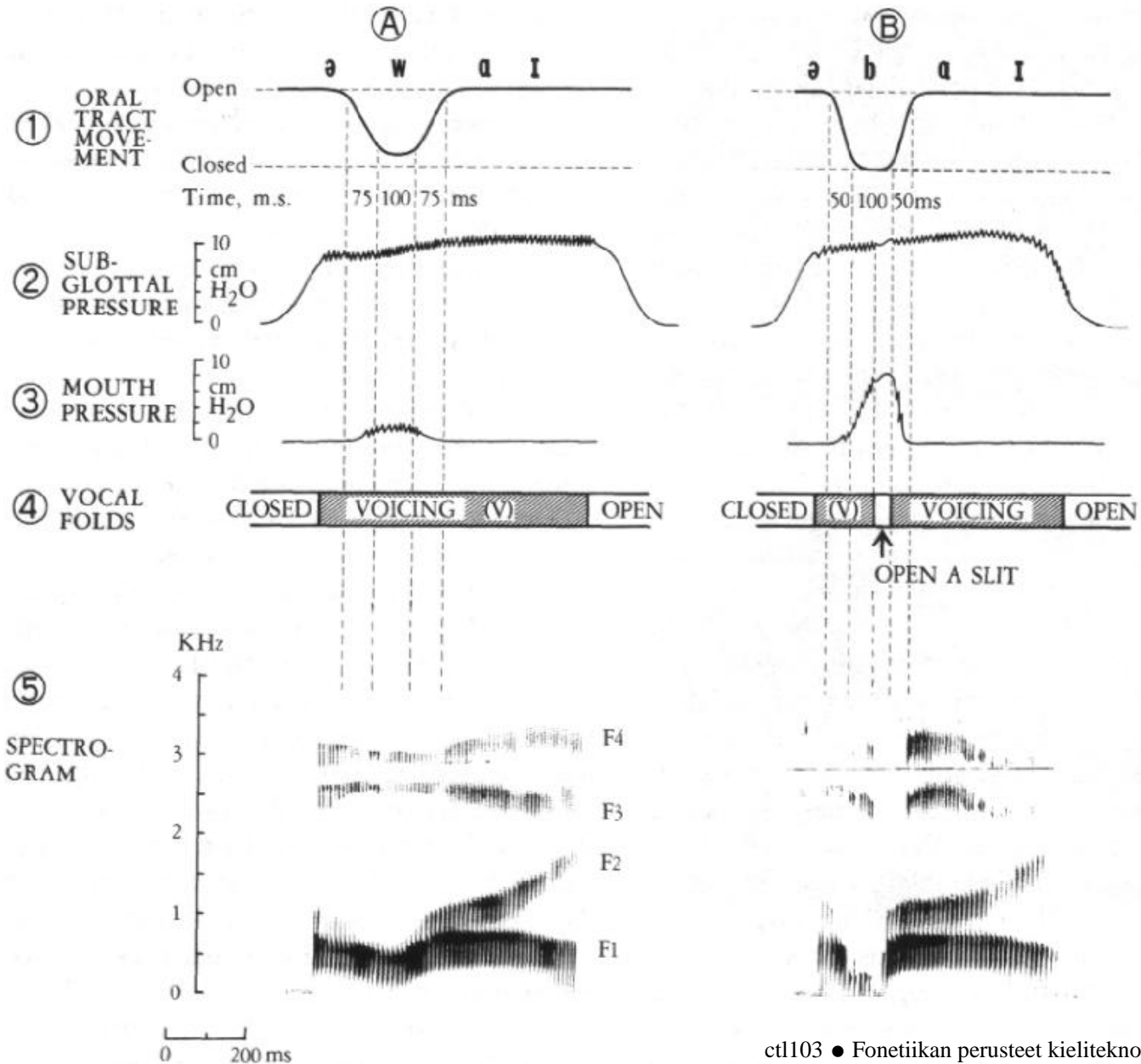


Konsonanttien tuottaminen

- Konsonanttien tuotto perustuu neljään fysiologiseen tekijään:
 1. Ääniväylän sulkeumaan
 2. Subglottaalin ilman paineeseen
 3. Ylemmän ääniväylän ilman paineeseen
 4. Äänihuulteen tilaan



Konsonanttien tuotto



Aproksimantit (puolivokaalit)

- Kuuluvat vokaalien ja diftongien kanssa oraalien sonoranttien luokkaan; ts. periodisia äänteitä joiden kolme ensimmäistä formanttia kaistalla 0 – 4000 Hz.
- Suomessa [l], [j], [v̥] ja jotkut [r]:n varianteista.



Aproksimantit: jatkoa ...

- Aproksimanteilla tavataan huomattavaa allofonista variaatiota ja sen mukaan akustinen vihjeistö on moninaista. Esim. englannin monissa aksenteissa (murteissa) tavataan kahta /l/-allofonia; heleää (normaali) [l] ja tummaa (velaaristunut) [ɫ]. Niiden distribuution määrää sijainti tavussa; äänne on aina heleä kun se on tavunalkuinen ja sitä seuraa vokaali, diftongi tai [j].
- Suomessa on vastaavat allofonit, mutta niiden distribuution määrää (karkeasti) seuraavan vokaalin takaisuus aiheuttaa /l/:n “tummumisen”.



Approksimanttien havaitseminen

- Eräs tärkeä aproksimantteja muista sonoranteista erottava vihje ovat (negatiiviset) muutokset äänekkyudessa eri taajuuskaistoilla:

0 – 300 Hz sonoranttisuus = periodisuus

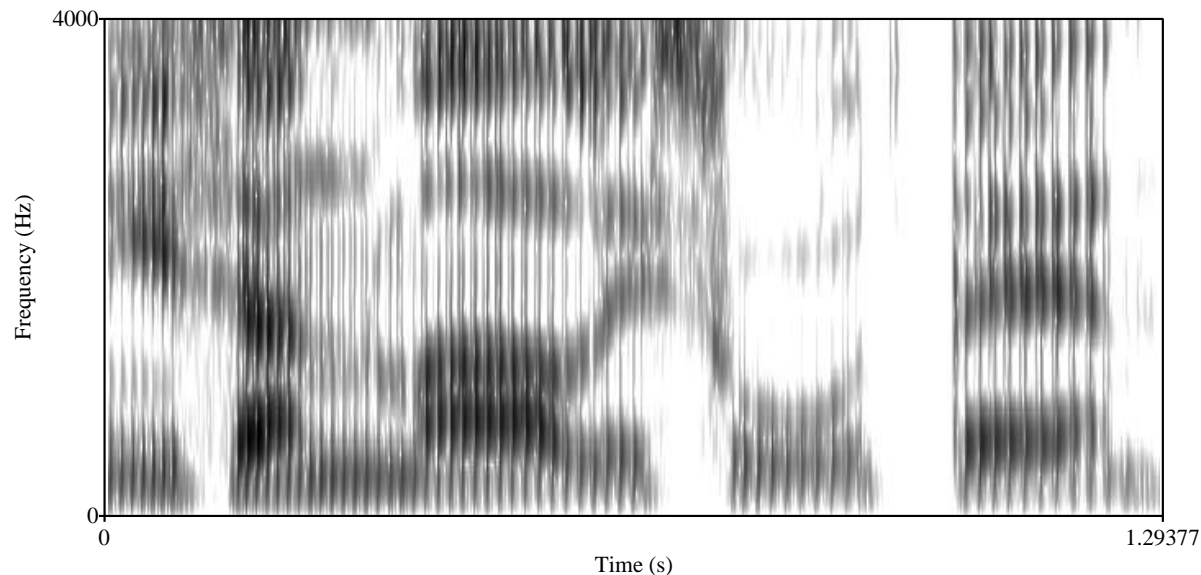
680 – 2800 Hz alemmat formantit vokaaleilla

2000 – 3000 Hz ylemmät formantit vokaaleilla



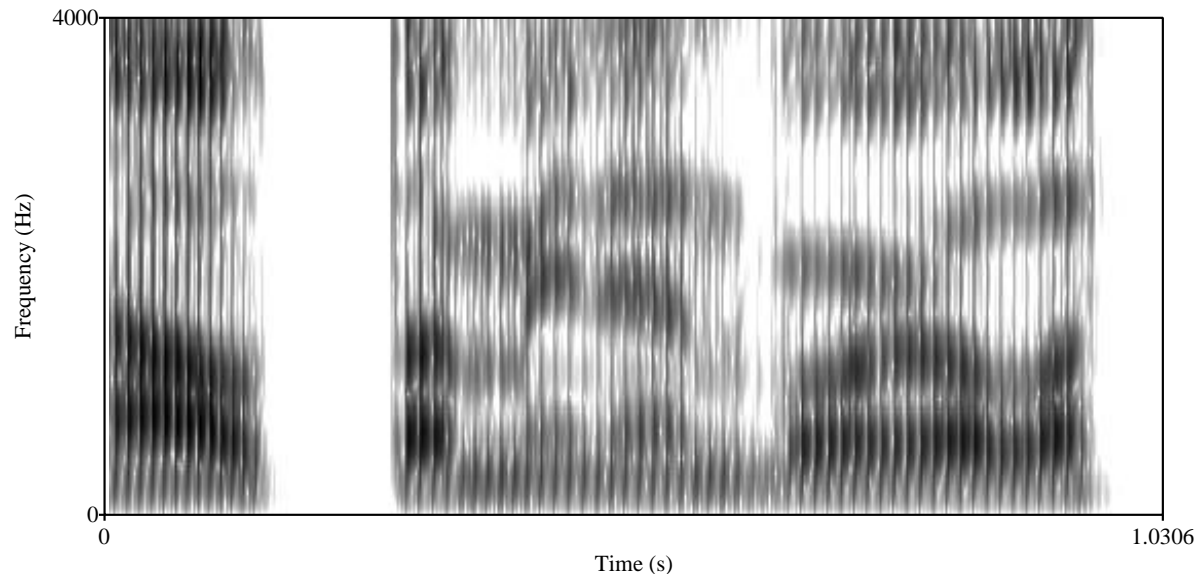
Aproksimantit: formanttien taajuudet

- Tyypillisesti sellaiset aproksimantit, joite ei voi erotella edellä mainittujen tekijöiden avulla erotellaan spektraalisin keinoin.
- Esim. [l]:n kohdalla suhteellisen nopeat transiitot toimivat tärkeänä vihjeenä. Alla sana ”isänmaallisuuteen”:



Nasaalit

- Spektrogrammeissa näkyvä *nasaalihumina* (nasal murmur), joka on amplitudiltaan naapurivokaaleita heikompi.
- Nasaalien spektrejä värittävät nenäväylän *nasaaliformantit* ja oraaliväylän tuottamat *antiformantit*. Myös suuväylän tuottamat formantit havaittavissa, joskin hyvin vaimeina. ("Auttaminen voi olla")



Nasaalit: navat ja nollat

- Akustisessa kuvauksessa ääniväylän resonansseja kutsutaan *navoiksi* (pole) ja antiresonansseja *nolliksi* (zero).
- Nollan taajuusresponsi on täysin navan tai resonanssin vastainen.
- Ääniväylän nollat siis vaimentavat taajuuksia, jotka osuvat niiden läheisyyteen.
- Vastaavasti kun resonanssit vaimentavat kauempana olevia formantteja, nollat vahvistavat niitä.

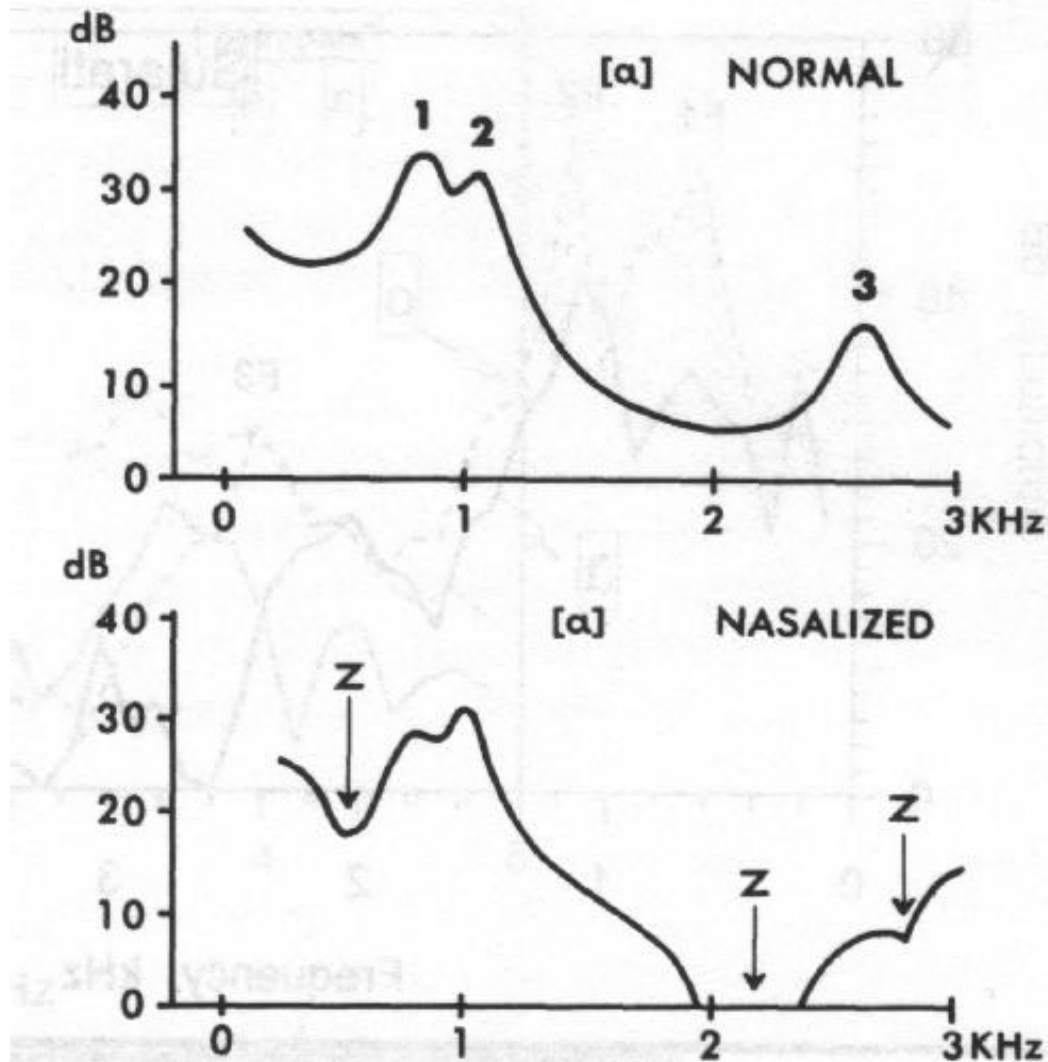


Nasaalit: navat ja nollat

- Vokaalin nasaalistuminen johtuu navasta perustaajuuden alapuolella, se vahvistaa perustaajuutta.
- Vastaavasti lähelle napaa syntyy nolla, joka usein tasoittaa vokaalin alempia formantteja.
- *Nasalisaatio* luo nollia myös F2:n ja F3:n taajuuksille.



Nasaalit: navat ja nollat



Nasaalit: jatkoa ...

- Nasalisaation aiheuttamien nollien ja napojen taajuudet ovat riippuvaisia *nasaaliportin* koosta ja muuttuvat näin ollen nopeasti siirryttäessä äänneestä toiseen.
- Nasaalien paikan havaitseminen tapahtuu suurelta osin juuri formanttien ja antiformanttien siirtymien avulla.
- Nasaalien normaalit F1-transitiot jäävät kuitenkin usein muuttuvan napa-nolla -siirtymän alle. F2:n transitiiohin nasaalisuus ei niinkään vaikuta.



Klusiilit

- Klusiilit koostuvat kahdesta vaiheesta, mutta niiden havainto perustuu kolmeen vaiheeseen. Kaksi ensimmäistä vaihetta ovat: *sulkeuma* tai *okluusio* (closure) ja *laukeama* (release (burst)).
- Soinnittimien klusiilien aikana sulkeumavaihe sisältää pelkää hiljaisuutta soinnillisten aikana sen täyttää usein matalataajuuksinen äänihuulista lähtenyt sointi.

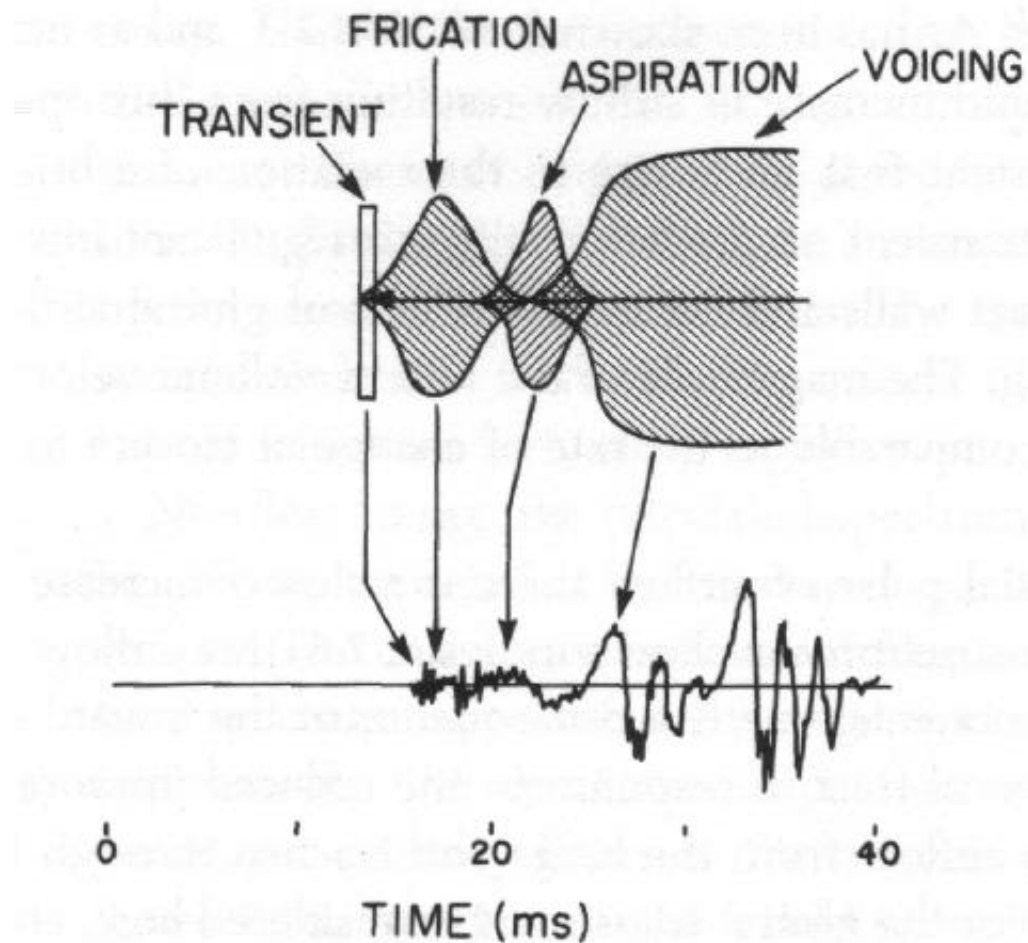


Klusiilin eksplosio

- Klusiilin eksplosiovaihe koostuu:
 1. *Transientista* (nopea eksplosiivinen hälypiikki)
 2. *Frikaatiosta* (frikatiiviäänteitä muistuttava osa)
 3. *Aspiraatiosta* (joillain, yleensä soinnittomilla klusiileilla tavattava glottaalinen häly)



Klusiilin eksplosio

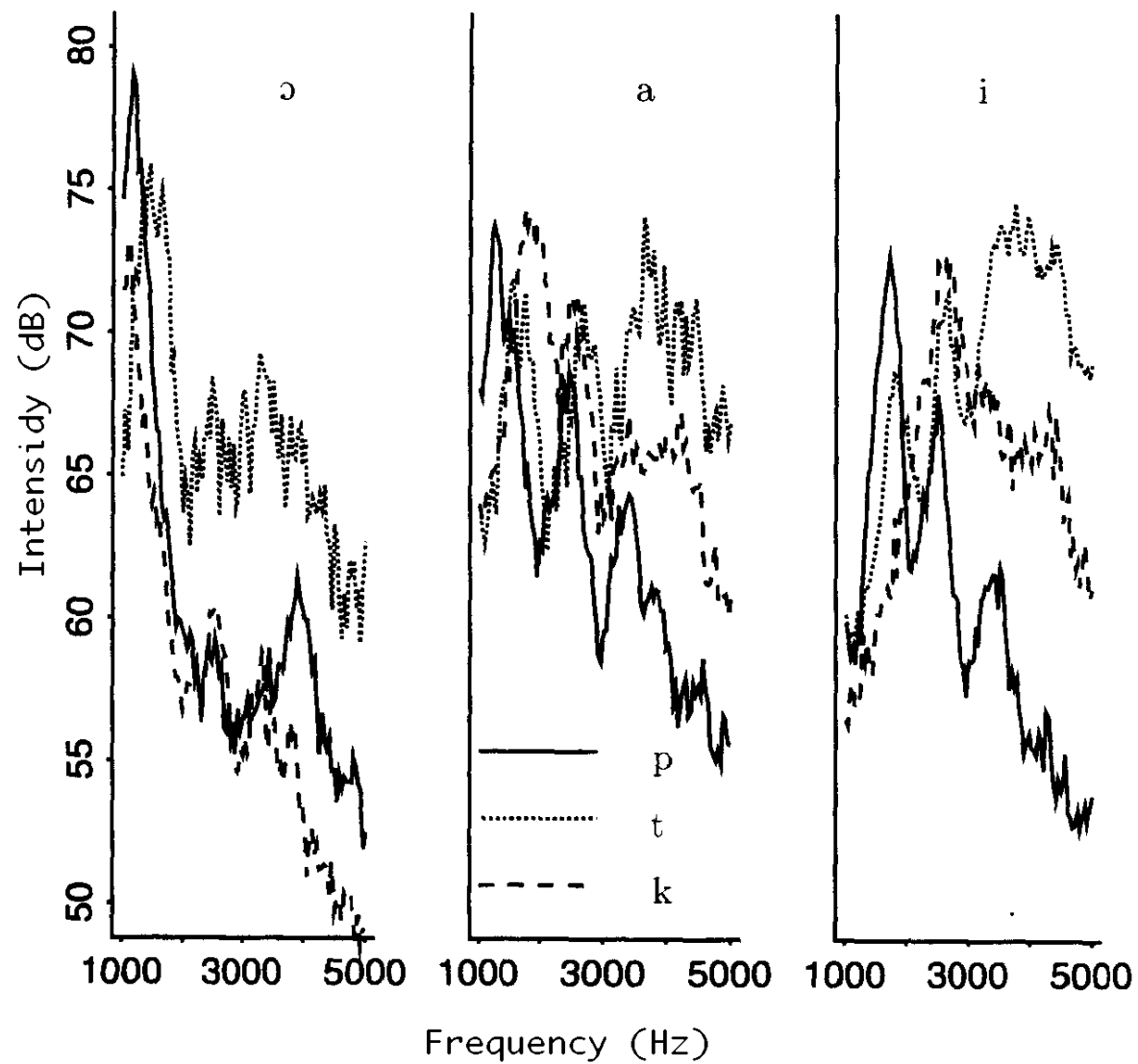


Eksploosiohälyn spektraaliset ominaisuudet

- On osoitettu, että oraalisten klusiilien eksploosiohälyn spektrit toimivat niiden artikulaatiopaikan tärkeimpänä vihjeenä. Samalla on huomattu, että [p]:n ja [b]:n spektrit ovat tasaisia. Näin on laita myös [t]:n [d]:n, kuitenkin sillä erolla, että jälkimmäisten spektrien energia laskee tasaisesti taajuuden kasvaessa. Fonologiseksi piirteiksi näiden kohdalla on ehdotettu *gravis* (grave) bilabiaaleille sekä takaistuneille velaareille ja *akuutti* (acute) alveolaareille sekä etistyneille velaareille. Stevens et co. ovat ehdottaneet kolmearvoista piirrettä: *diffuse falling*, *diffuse flat* ja *diffuse rising*.

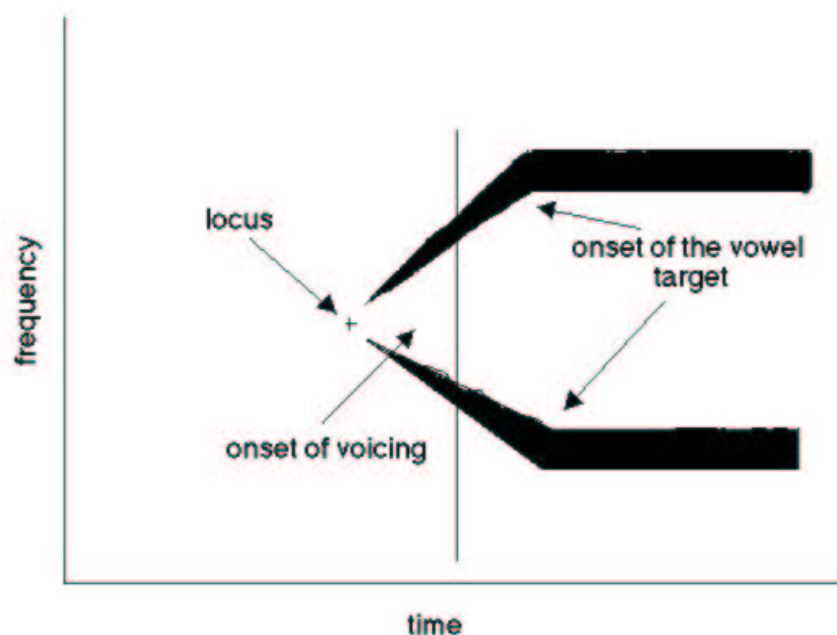


Ekspllosion spektri



Formanttien transiitiot

- Klusiilien kolmas ja viimeinen vaihe (usein tärkein kaikista) on itse asiassa sitä seuraavaan vokaaliin sijoittuva *transitiovaihe* (transition, acoustic onglide, offglide).



Formanttien *locus*

- Idea transitoista havaintovihjeenä on peräisin vuosisadan puolivälistä Liberman, Delattre ja kumppanit huomasivat *Haskins Laboratoriossa*, että pystyäkseen tuottamaan kunnollisen synteettisen bilabiaalisen konsonantin, täytyi heidän laittaa toisen formantin taajuus osoittamaan pisteeseen hieman yli 700 Hz:n kohdalla (Pattern Playback-synteesiä käyttäen). Alveolaareille vastaava piste oli noin 1.8 kHz:n kohdalla. Luonnollisesta puheesta on kuitenkin saatu selville, että transitiot ovat todellisuudessa paljon vaihtelevampia kuin *lokus-teorian* perusteella voisi olettaa.

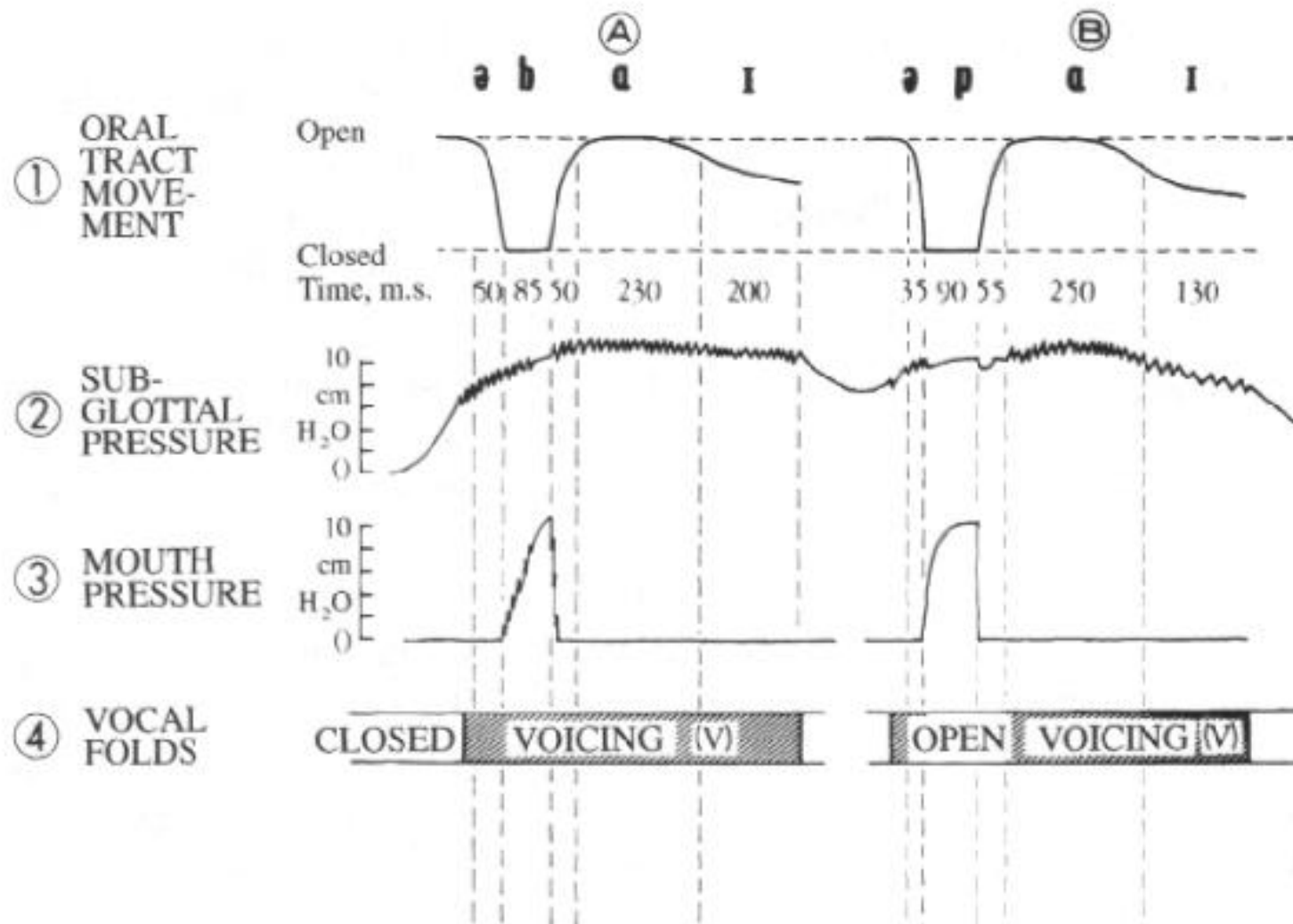


Sointi

- Foneemien /b, d, g, z, ʒ, ð, v/ sanotaan olevan *soinnillisia* (voiced).
- Vastaavasti foneemit /p, t, k, s, ʃ, f, θ/ ovat *soinnittomia* (unvoiced).
- Sointi viittaa siis glottiksen toimintaan ja periodiseen äänilähteeseen.
- Vaikka glottiksen toiminta on soinnin kannalta tärkeää, ei se kuitenkaan ole ainoa soinnillisuuden vihje.



Sointi: esimerkki



Sointi: VOT

- VOT = Voice Onset Time = aika laukeamahälystä vokaalin soinnin alkuun (sisältää siis koko kaikki laukemahälän vaiheet).
- Useissa kielissä soinnillisuus/soinnittomuus distinktion tärkein akustinen vihje.
- Soinnillisten klusiilien VOT on soinnittomia lyhyempi ja velaareilla muita klusiileja pidempi (kielen koko massa osallistuu tuottoon ja liikkuu hitaammin kuin pelkkä kärki).
- Selkeässä puheessa toimii jossain määrin myös paikan vihjeenä – ei kuitenkaan nopeassa spontaanissa puheessa.



Sointi: formanttien transitiot

- Klusiilien sulkeuman aikana leuka on ylimmillään ja väylä kiinni – tästä seuraa se, että F1 on (teoreettisesti) alimmillaan
- Väylän auetessa F1 nousee ja syntyy transiatio. Soinnin alun viivästyessä soinnittomilla klusiileilla, jää suurempi osa transitiosta äänettömäksi.



Sointi: muut vihjeet

- *Tavunloppuista klusiilia edeltävän vokaalin kesto on pidempi jos klusiili on soinniton.*
- *Äänihuulten värinä (sointi, fonaatio) ja siitä seuraava matalataajuinen komponentti spektrissä; etenkin vokaalinvälisten soinnillisten klusiilien kohdalla.*
- *Vokaalinvälisten klusiilien kesto; soinnittomat ovat soinnillisia pidempiä.*
- *Perustaajuuden (F_0) alku klusiilia seuraavassa vokaalissa; soinnittomien klusiilien jälkeen F_0 korkeammalta kuin soinnillisten jälkeen.*
- *Eksploosiohälyn amplitudi on soinnittomilla klusiileilla korkeampi.*



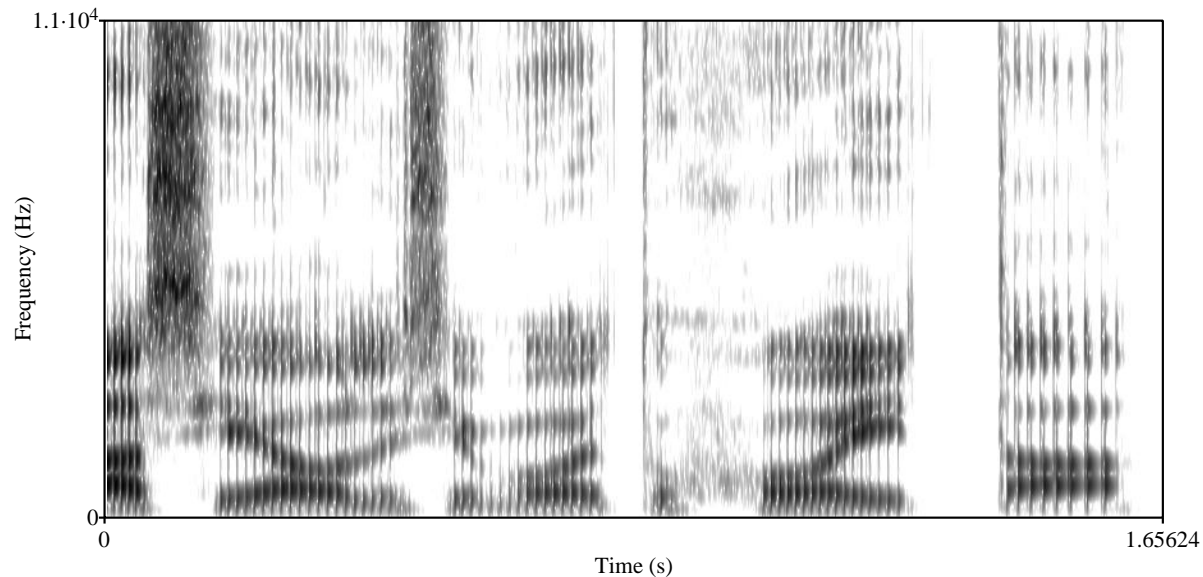
Frikatiivit

- Frikatiivit ovat ajalliselta rakenteeltaan (sulkeuma – aukeama) samankaltaisia kuin klusiilit ja nasaalit.
- Täydellisen sulkeuman sijasta frikatiivit tuotetaan hyvin kapean sulkeuman avulla.
- Kulkiessaan kapean väylän läpi, keuhkoista tuleva ilmavirta muuttuu *turbulentiksi* ja aiheuttaa kohinaisen lähteen ääniväylään.
- Frikatiivien spektraalinen muoto suun ulkopuolelta mitattuna riippuu ääniväylän koosta ja muodosta kapeuman etupuolella.



Frikatiivit

- *Aperiodinen häly keski ja korkeilla taajuuksilla (2 – 8 kHz)*
- Soinnillisten frikatiivien aikana myös *äänihuulten soinnin aiheuttamaa matalataajuisia huminaa*. Ei välttämättä koko frikatiivin ajan. ("Asia olisi voitu hoitaa")



Frikatiivien havaintovihjeet

- *Spektrin muodon* perusteella – “spektraaliset momentit” (spectral moments):
 1. spektraalinen painopiste (spectral center of gravity), joka osoittaa energian keskittymän keskitaajuuden
 2. diffuusiuden aste (diffuseness)
- *Hälyn amplitudi* erottaa sibilantit [s] ja [ʃ] muista frikatiiveistä (esim [f] ja [h]).
- *Formanttien siirtymät* (transitiot) klusiileiden tapaan – etenkin sellaisten frikatiivien kohdalla, joissa spektraaliset erot ovat minimaalisia ja muut vihjeet toimivat heikommin; esim. [f] ja [θ] sekä [v] ja [ð]



Frikatiivit/afrikaatat

- Afrikaatat ovat kaksiosaisia äänteitä, jotka koostuvat ikäänkuin klusiilista (eksploosiohäly) ja frikatiivista (frikaatio). Ne käsitetään kuitenkin aina yhdeksi äänneeksi.
- *Frikaatiohälyn amplitudin nousun nopeus* (rise time); afrikaatat saavuttavat huippuamplitudin nopeammin.
- Afrikaatoilla klusiilin *laukeamahälyn kaltainen monivaiheinen rakenne*.
- *Edellä olevan sulkeuman kesto* afrikaatoilla lyhyempi; esim. “why choose” vs. “white shoes”.



Frikatiivien soinnillisuus/soinnittomuus

- Monet klusiilien vastaavan opposition vihjeistä pätevät myös frikatiiveihin:
 1. *Frikaatiohälyn kesto*; lyhyempi soinnillisilla kuin soinnittomilla frikatiiveilla
 2. *Hälykomponentin amplitudi*; pienmpi soinnillisilla
 3. *F0:n arvot seuraavassa vokaalissa*; alempi soinnillisten jälkeen
 4. *F1:n transitio* pidempi soinnillisen frikatiivin jälkeen
 5. *Sointi* (fonaatio) yleistä soinnillisten frikatiivien aikana vain vokaalienvälisessä asemassa

