

# Kielialtraääniprojekteja ja analyysimenetelmiä a.k.a. Ultraluento 2

Pertti Palo

10. huhtikuuta 2025

## Edellisen kerran sisältöä

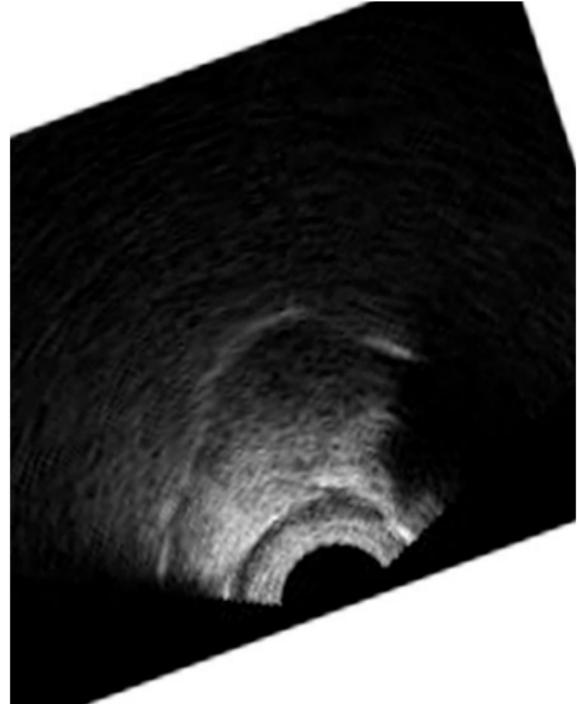
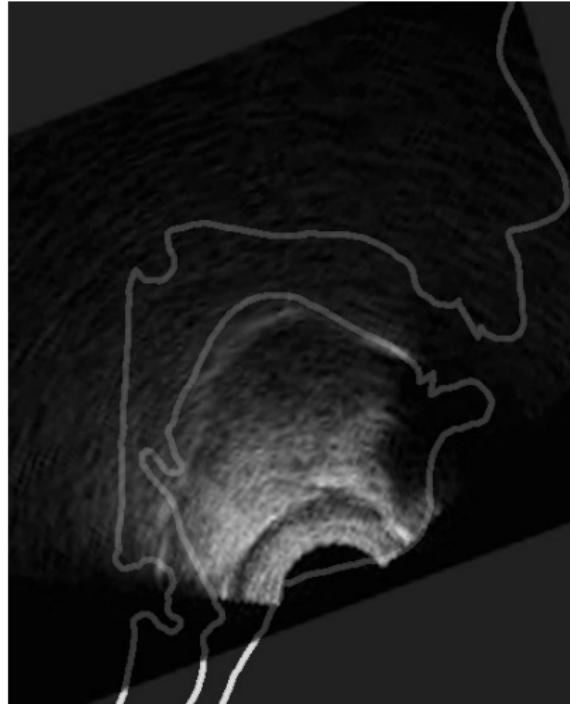
- ▶ 1. Luento: Ultraäänikuvauksen ominaisuudet ja toimintaperiaate
  - ▶ Etuja
  - ▶ Epäideaalisuuksia (eli puutteita)
  - ▶ Fyysinen toimintaperiaate
- ▶ 1. Luento: Video  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5351819/>  
Preston et al. (2017b)
- ▶ 1. Luento: Puheartikulaation mittaaminen ultraäänellä
  - ▶ Miltä kuva näyttää?

Onko uusia tai vanhoja kysymyksiä?

## 2. Ultraluento: Ultraäänellä tallennetun puhemateriaali ja analyysi

- ▶ Osa I: Projekti- ja analyysiesimerkkejä
  - ▶ Lueskeltavaa
  - ▶ Kliinistä tutkimusta
  - ▶ Koartikulaatiota: kielen pinta ja splinit
  - ▶ Arabian konsonantteja: muutoksen vertaaminen ajassa
  - ▶ Kurkunpään ultraa: monimutkaisten liikkeiden analyysi
  - ▶ Äänettömän artikulaation tarkastelua: kokonaismuutosta
- ▶ Osa II: Lisää analyysimenetelmiä
  - ▶ Audio – siis tavallinen ääni
  - ▶ Artikulatorinen data
    - ▶ Kieliultraääni
    - ▶ Kurkunpään ultraääni
    - ▶ Huulivideot
  - ▶ Laskennalliset metriikat

## Viime kerralta: Kieliultraääni ja anatomia



# Projekti- ja tutkimuskohde-esimerkkejä

## Lueskeltavaa

Kaikki nämä ovat otoskoon vuoksi alustavia tuloksia.

Tieteellinen 'varmuus' vaatii paljon aikaa ja resursseja: Ala tarvitsee lisää innokkaita jatko-opiskelijoita!

- ▶ Bacsfalvi and Bernhardt (2011) raportoivat ultraäänien ja elektropalatografian vaikuttuksista seurantatutkimuksessa.
- ▶ Byun et al. (2014) raportoivat kohdeasentojen yksilöllistämisen vaikutuksesta ultraäänipalautteen tehokkuuteen.
- ▶ Preston et al. (2017a) raportoivat tuloksia prosodisen vaihtelun vaikutuksesta terapia tuloksiin ultraäänipalauteterapiassa.

*Ultrasound visual feedback may facilitate speech sound learning and learning may be enhanced by treating speech sounds with explicit prosodic variation.*

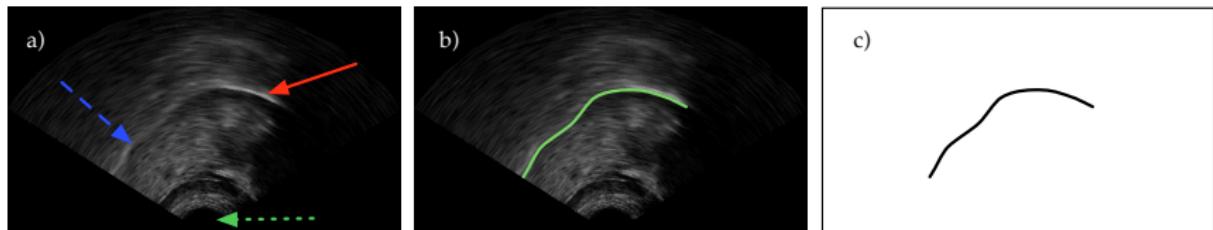
# Esimerkkiprojekti 1: Kliininen tutkimus

- ▶ Joanne Cleland & al. - University of Strathclyde
  - ▶ Kliinistä dataa kitahalkiopotilaiden post-operatiivisista kuntoutuskäynneistä.
  - ▶ Tuloksia julkaistu eri muodoissa, mutta raakadata on suljettua.
  - ▶ Hyvä aika- ja paikkaresoluutio, kuvien laatu vaihtelee paljon riippuen potilaan iästä ja muista tekijöistä.
  - ▶ Lisähaasteena laitevian takia puuttuva synkroni ultraäänidataan ja audion välillä.
  - ▶ Analyysi oli kuitenkin mahdollista valitsemalla videon perusteella maksimaaliset konsonanttiartikulaatiot analysoitavaksi.
  - ▶ Lisäksi audion kohdistus ilmeisesti onnistui myös neuroverkkojen avulla myöhemmin.

## Esimerkkiprojekti 2: Koartikulaatiotutkimusta

- ▶ Sonja Dahlgren, Pertti Palo & Minnaleena Toivola: Kielten koartikulaatiotyppien kartoitusta.
  - ▶ Aineistossa kielestä riippuen sanoja ja epäsanoja.
  - ▶ Sekä muiden dataa että uutta .
  - ▶ Hyvä aika- ja paikkaresoluutio, kuvat kohtuullisen selkeitä.
- ▶ Projektin tarkoitus on luoda luokittelujärjestelmä eri kielten koartikulaatiotavoille eli kuvata kuinka vokaalit ja konsonantit yhteistuotetaan osana puhevirtaa.
- ▶ Tähän aiheeseen erinomainen menetelmä on katsoa kielen pinnan asentoa erottamalla se ultraäänikuvista splineillä.

# Splinit I

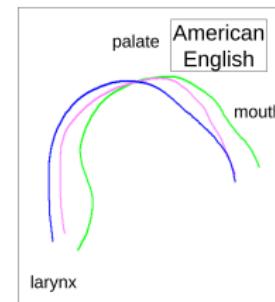
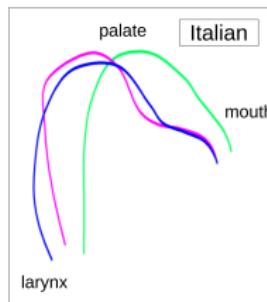
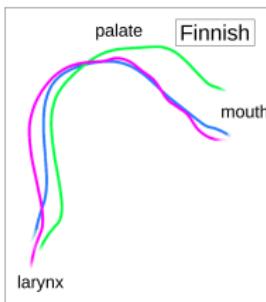
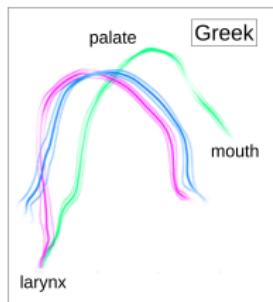


- ▶ Splinin sovitus ultraäänikuvaan tarkoittaa, että piirrämme kielen pinnan mukaisen käyrän ultraäänikuvaan - tai oikeastaan asetamme splinin ohjauspisteet niin että splini asettuu kielen pinnan kohdalle.
- ▶ Sovitus voidaan tehdä joko manuaalisesti tai automaattisesti.
- ▶ Nykyisin automaattinen menetelmä on taitavan ihmisen tasolla useimmissa aineistoissa.
- ▶ Automaattista tulosta voidaan myös korjata manuaalisesti.

## Splinit II

- ▶ Tulokset riippuvat paljon datan laadusta:
  - ▶ Parempi paikkaresoluutio auttaa, mutta ei takaa, sovittamisen onnistumista.
  - ▶ Selkeisiin kuviin on helpompi sovittaa splini.
- ▶ Splinit itsessään voivat olla analyysin tulos ja niitä voidaan verrata toisiinsa silmämäärisesti.

# Esimerkkiprojekti 2: Koartikulaatiotutkimusta



ka  
ki  
ku

ka  
gi  
gu

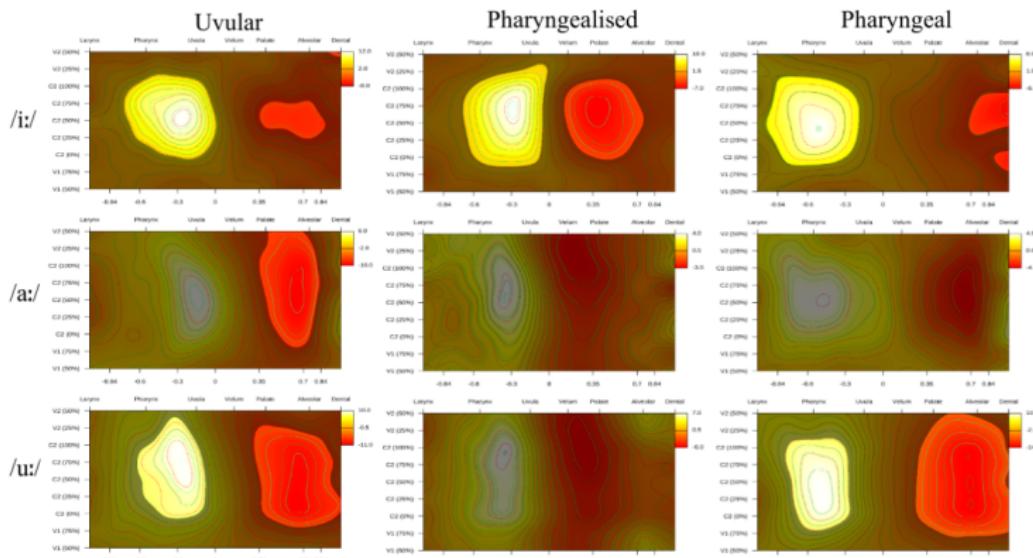
- ▶ Tässä on hyvä esimerkki siitä miten pääefekti voi olla näkyvissä suoraan pienessäkin datassa.

## Esimerkkiprojekti 3: Arabian konsonantteja

- ▶ Jalal Al-Tamimi & Pertti Palo (forthcoming): “Tongue contours in guttural consonants in Levantine Arabic: A Generalised Additive Modelling Approach”
  - ▶ Aineistossa levantin arabinkielisiä sanoja.
  - ▶ Laaja julkaisuihin tähtäävä aineisto: Puhujia kaikkiaan 10.
  - ▶ Hyvä aikaresoluutio, paikkaresoluutio heikompi. Kuvat vähemmän selkeitä.

# Esimerkkiprojekti 3

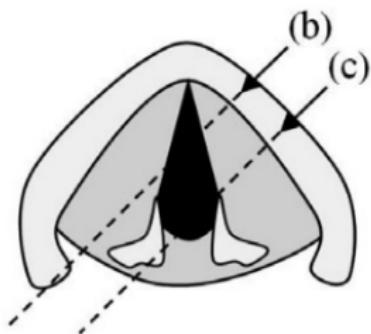
- ▶ Alla analyysituloksia jotka esiteltiin ISSP 2020-konferenssissa.
- ▶ Kuvissa y-akseli on aika (alhaalta ylös), x-akseli on paikka vasen-oikea = takana-edessä, ja vaalea väri tarkoittaa korkeampaa kielen asentoa, punaisempi/tummempi matalempaa.



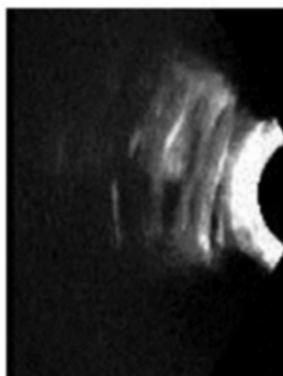
**Lyhyt tauko (5 min)**

# Esimerkkiprojekti 4: Kurkunpään liikkeitä

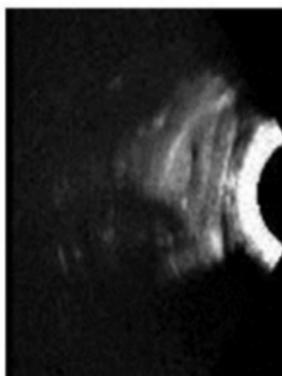
a) probe placement



b) slightly anterior



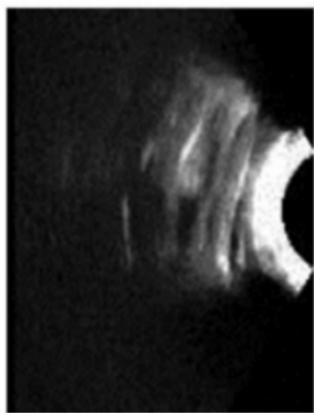
c) slightly posterior



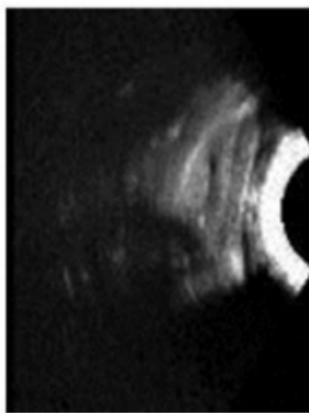
Scott R. Moisik, Hua Lin and John H. Esling (2014). A study of laryngeal gestures in Mandarin citation tones using simultaneous laryngoscopy and laryngeal ultrasound (SLLUS). Journal of the International Phonetic Association, 44, pp 21-58  
doi:10.1017/S0025100313000327

# Esimerkkiprojekti 4: Kurkunpään liikkeitä

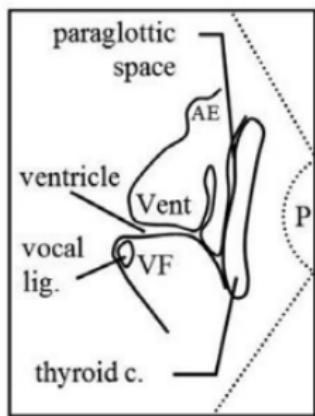
b) slightly anterior



c) slightly posterior



d) diagram of (c)



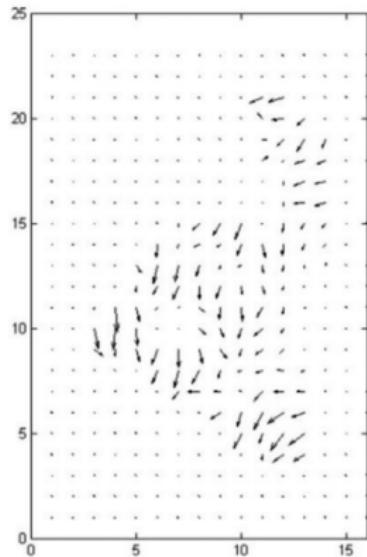
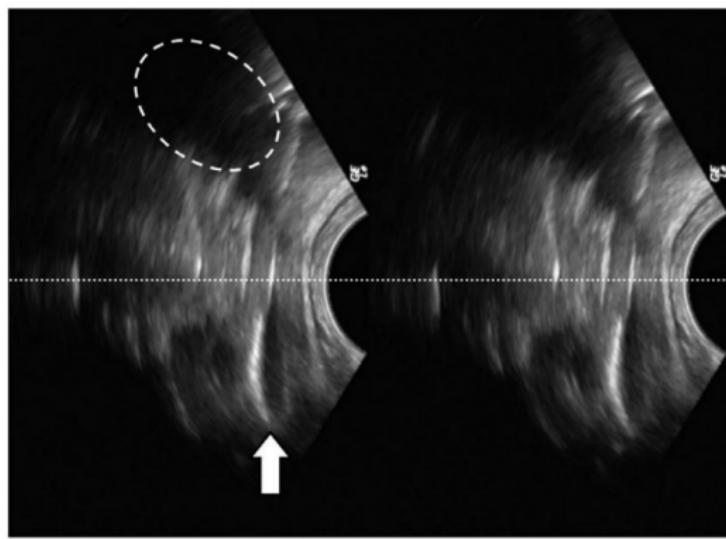
- Vent = valeäänihuuli, VF = äänihuuli, AE = aryepiglottaalinen poimu, P = anturi.

# Esimerkkiprojekti 4: Kurkunpään liikkeitä

a) Frame 15  
(current)

b) Frame 16  
(next)

c) Resulting  
Optical Flow



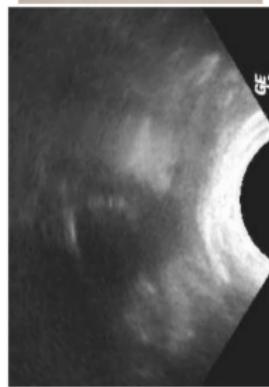
Moisik, S. R., Esling, J. H., Bird, S., & Lin, H. (2011). Evaluating laryngeal ultrasound to study larynx state and height. In W. S. Lee & E. Zee (Eds.), Proceedings of the 17th International Congress of Phonetic Sciences (pp. 136 – 139).

# Kurkunpään ultraääni - anturivaihtoehtoja

8C-RS Probe



12L-RS Probe



- ▶ Samat rakenteet, erilainen anturi → erilainen kuva.

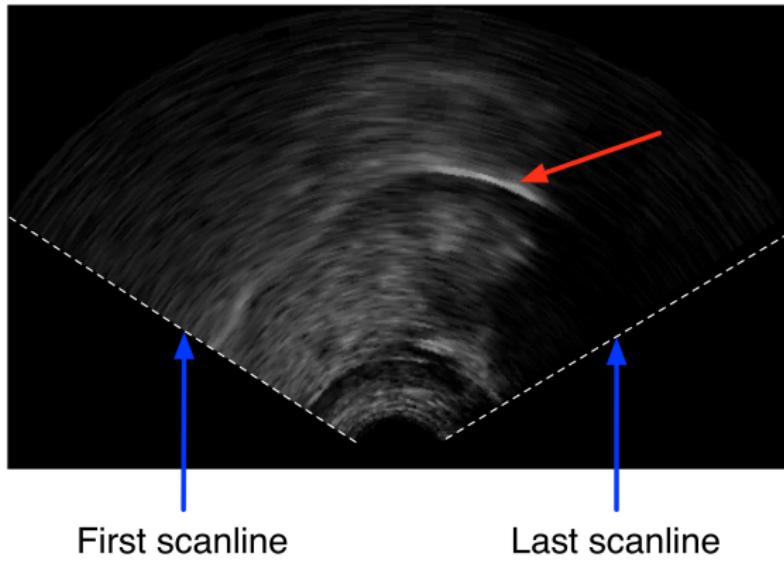
Kuvat: Moisik, S. R., Esling, J. H., Bird, S., & Lin, H. (2011). Evaluating laryngeal ultrasound to study larynx state and height. In W. S. Lee & E. Zee (Eds.), Proceedings of the 17th International Congress of Phonetic Sciences (pp. 136 – 139).

## Esimerkkiprojekti 5: Äännettömän artikulaation kartoitusta

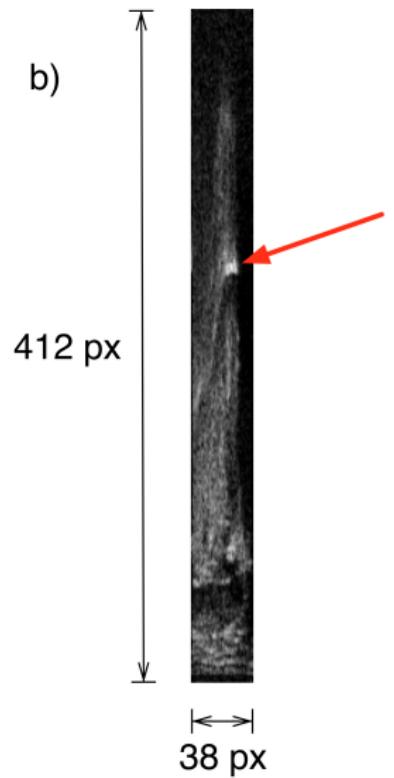
- ▶ Pertti Palo: Puhunnosten alkujen ajoitusta - väitöskirjadataa.
  - ▶ Aineistossa skottenglannin leksikaalisia /CVC/-sanoja.
  - ▶ Väitöskirjan päädäta.
  - ▶ Erinomainen aika- ja paikkaresoluutio, kuvat selkeitä.

# Pikselietäisyys: Raakadata

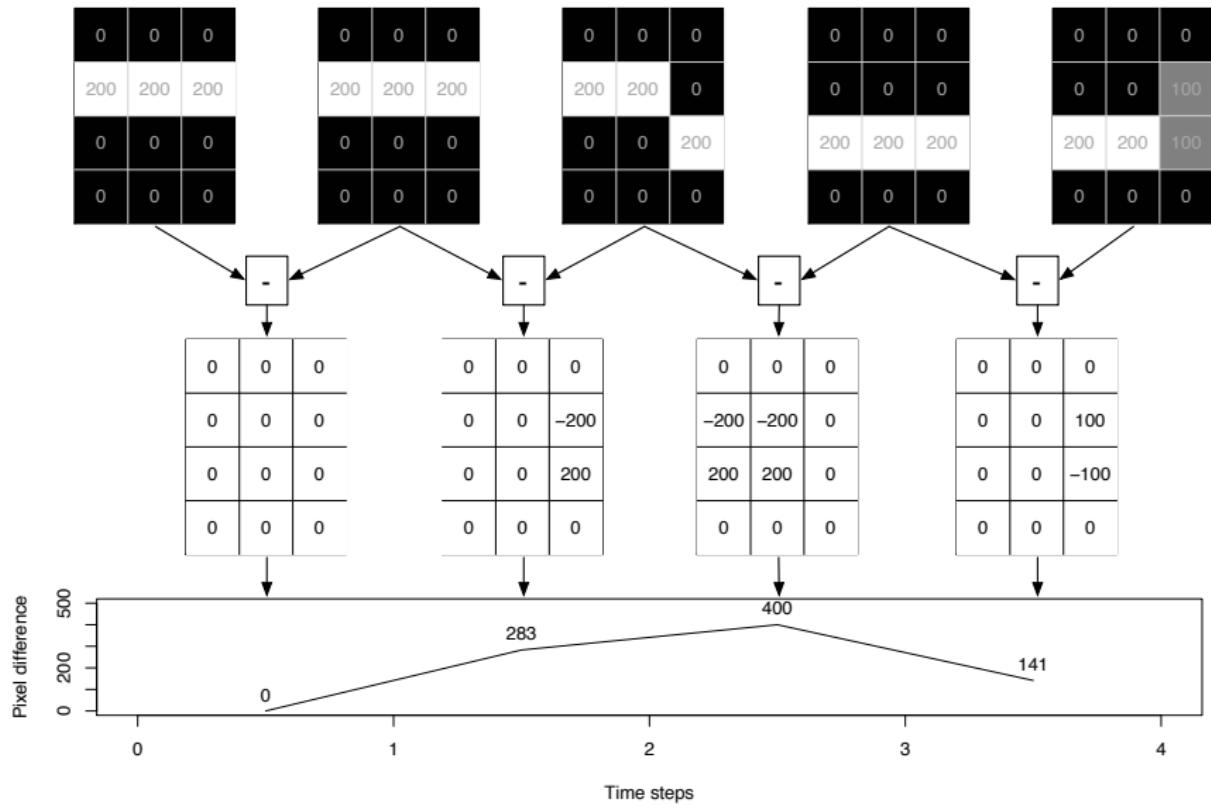
a)



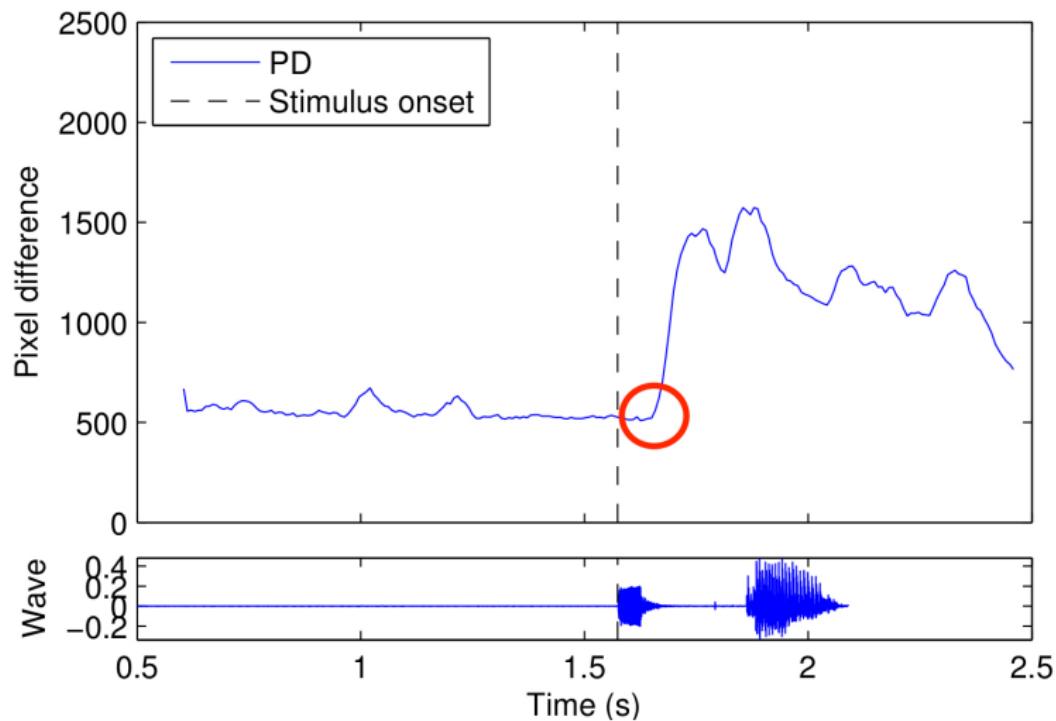
b)



# Pikselietäisyys: Miten laskenta tapahtuu?



# Pikselietäisyys: Missä liike alkaa?



# Analyysimenetelmiä

# Audio

- ▶ Tärkeä osa dataa on ultraäänien kanssa yhdessä synkronoidusti tallennettu ääni.
- ▶ Ääntä voi analysoida AAA:lla, mutta se on helpompaa Praatilla.
- ▶ Akustisen segmentoinnin tuloksista on huomattavaa hyötyä aineiston rajaamisessa. Niiden avulla artikulatorinen analyysi voidaan kohdistaa vain siihen osaan tallenteita, mistä ollaan kiinnostuneita.

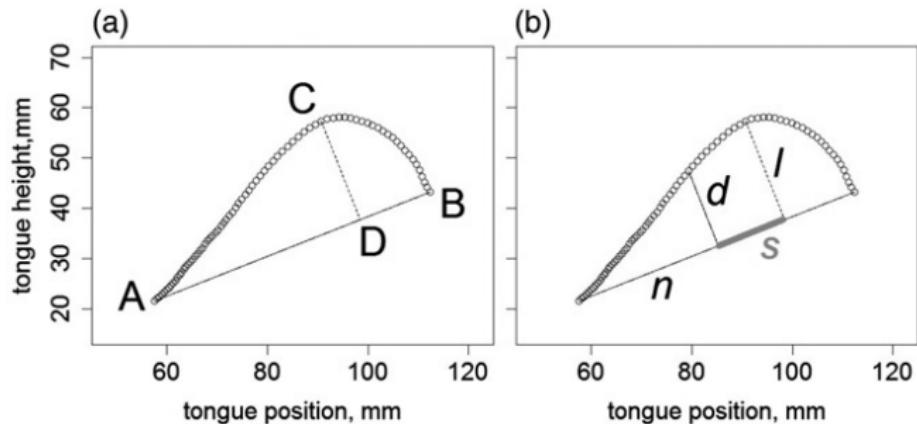
# Artikulatorinen data

- ▶ Keskitymme tällä kertaa kielialtaan analyysiin.
- ▶ On kuitenkin hyvä huomata, että myös muita datatyypejä tai -modaliteetteja voidaan yleensä tallentaa samalla laitteistolla – pienillä tai suurilla muutoksilla:
  - ▶ Kurkunpään ultraääni käyttää yleensä erityyppistä anturia, joka pitää ostaa erikseen. Daten analyysi on tyypillisesti hyvin erilaista kuin kielialtaan analyysi, koska rakenteet ovat paljon monimutkaisempia.
  - ▶ Huulivideoita voidaan tallentaa helposti. HY:n laitteistolla niitä saadaan joko kasvojen sivulta tai edestä. Huulivideoiden analyysiin on myös olemassa työkaluja.
  - ▶ Suurempaa työtä vaatii yhtäaikainen datan tallennus esim. ultraäänellä ja elektromagneettisella artikulografialla tai muilla menetelmillä.

## Pelkät videot tai kuvat

- ▶ Ultraäänidideoita voidaan annotoida siinä missä mitä hyvänsä videoita.
- ▶ Työ ei ole ihan kevyttä, joten aiheen ja materiaalin rajoiksessa kannattaa olla huolellinen.
- ▶ Annotoinnin voi tehdä AAA:lla tai vaikkapa .avi-tiedostoiksi tallennettuja videoita voi käsitellä videoiden annotointiin tarkoitetuilla ohjelmilla.
- ▶ Yksittäisistä kuvista voi myös tehdä suoria mittauksia.

# Splinien analyysimenetelmää



- ▶ Splinien muotoa voidaan analysoida myös ajan funktiona funktionaalisella data analyysilla ilman tarvetta rajoittua yksittäisiin ajanhetkiin analyysissä.
- ▶ Splineistä voidaan myös laskea erilaisia metriikoita ja verrata niitä sitä kautta toisiinsa. Esimerkiksi Zharkova et al. (2015).
- ▶ Menetelmiä on paljon ja erilaisiin kysymyksiin sopivat eri menetelmät.

## Laskennalliset metriikat

- ▶ Voimme myös analysoida videoiden informaatisiosisältöä erottamatta niistä kielenpintaa tai muita anatomisia rakenteita. Esimerkiksi:
  - ▶ Pikselietäisyys (engl. Pixel Difference / PD, seuraavat kalvot) seuraa kokonaismuutosta ultraäänisen raakadatan perusteella. Sopii erityisen hyvin liikkeen alun paikantamiseen.
  - ▶ Optinen virta (engl. Optic flow) seuraa kuvan osien liikettä tilastollisin menetelmin ja arvioi miin pään kuvan eri osat liikkuvat. Tämä on tärkeää menetelmä kurkunpään ultraäänisen analyssissa.
  - ▶ Kuvasarjojen suora tilastollinen analyysi Saito et al. (2020).
- ▶ Näitä ja muita menetelmiä voidaan käyttää myös splinien rinnalla tuomassa lisätietoa.

Kyselkää

## Kiitokset

- ▶ Steve Cowen: AAA:n käyttöapu ja kuva minusta.
- ▶ Felix Schaeffler: Iepakkokuva.
- ▶ Alan Wrench: AAA:n käyttöapu ja laitteistokuvat.
- ▶ Megan Diekhoff: Kliinisen tutkimuksen vinkit.

# Viitteet, ja lukemista

- Bacsfalvi, P. and Bernhardt, B. M. (2011). Long-term outcomes of speech therapy for seven adolescents with visual feedback technologies: Ultrasound and electropalatography. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 25(11-12):1034–1043.
- Byun, T. M., Hitchcock, E. R., and Swartz, M. T. (2014). Retroflex Versus Bunched in Treatment for Rhotic Misarticulation: Evidence From Ultrasound Biofeedback Intervention. *Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR*, 57(6):2116–2130.
- Moisik, S., Esling, J., Bird, S., and Lin, H. (2011). EVALUATING LARYNGEAL ULTRASOUND TO STUDY LARYNX STATE AND HEIGHT. In *ICPhS 2011*, Hong Kong.
- Moisik, S. R., Lin, H., and Esling, J. H. (2014). A study of laryngeal gestures in Mandarin citation tones using simultaneous laryngoscopy and laryngeal ultrasound (SLLUS). *Journal of the International Phonetic Association*, 44(01):21–58.
- Preston, J. L., Leece, M. C., McNamara, K., and Maas, E. (2017a). Variable Practice to Enhance Speech Learning in Ultrasound Biofeedback Treatment for Childhood Apraxia of Speech: A Single Case Experimental Study. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 26(3):840–852.
- Preston, J. L., McAllister Byun, T., Boyce, S. E., Hamilton, S., Tiede, M., Phillips, E., Rivera-Campos, A., and Whalen, D. H. (2017b). Ultrasound Images of the Tongue: A Tutorial for Assessment and Remediation of Speech Sound Errors. *Journal of Visualized Experiments : JoVE*, (119):55123.
- Saito, M., Tomaschek, F., Sun, C.-C., and Baayen, R. H. (2020). An ultrasound study of frequency and co-articulation. In *Proceedings of the 12th International Seminar on Speech Production (ISSP 2020)*, pages 206–209, Online / New Haven, CT.
- Zharkova, N., Gibbon, F. E., and Hardcastle, W. J. (2015). Quantifying lingual coarticulation using ultrasound imaging data collected with and without head stabilisation. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 29(4):249–265.