

Kielialtraääniprojekteja ja analyysimenetelmiä a.k.a. Ultraluento 2

Pertti Palo

10. huhtikuuta 2025

Land acknowledgement eli maantunnustus

The University of Alberta respectfully acknowledges that we are located on Treaty 6 territory, a traditional gathering place for diverse Indigenous peoples including the Cree, Blackfoot, Métis, Nakota Sioux, Iroquois, Dene, Ojibway/Saulteaux/Anishinaabe, Inuit, and many others whose histories, languages, and cultures continue to influence our vibrant community.

Edellisen kerran sisältöä

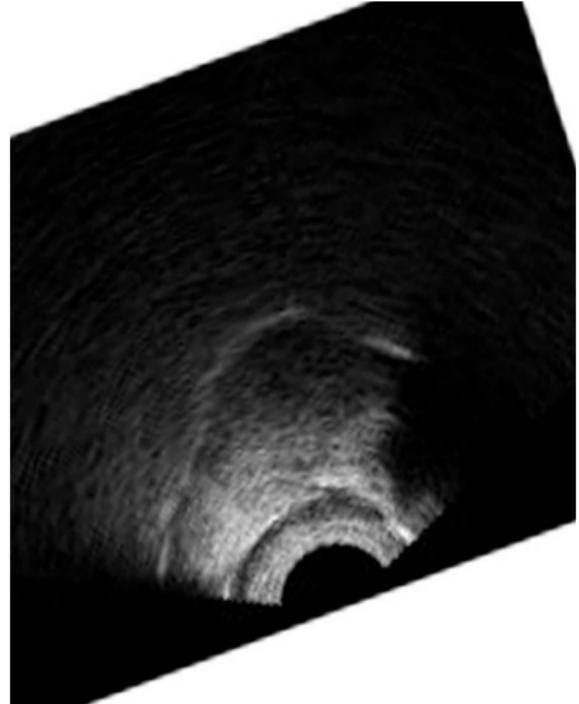
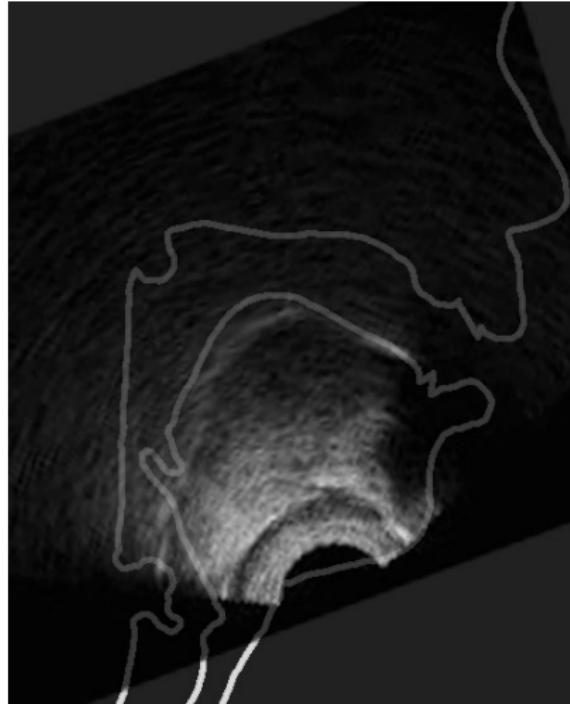
- ▶ 1. Luento: Ultraäänikuvauksen ominaisuudet ja toimintaperiaate
 - ▶ Etuja
 - ▶ Epäideaalisuuksia (eli puutteita)
 - ▶ Fyysinen toimintaperiaate
- ▶ 1. Luento: Video
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5351819/>
Preston et al. (2017b)
- ▶ 1. Luento: Puheartikulaation mittaaminen ultraäänellä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

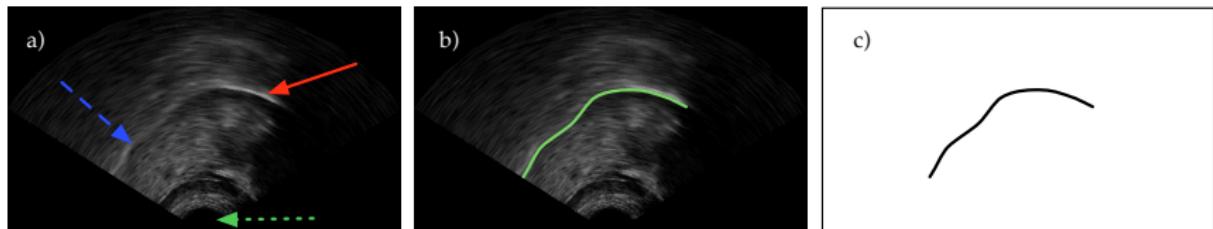
Esimerkkiprojekti 1: Kliininen tutkimus

- ▶ 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

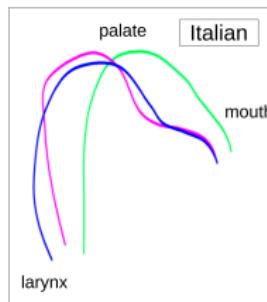
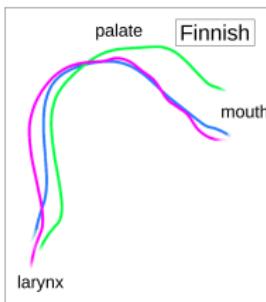
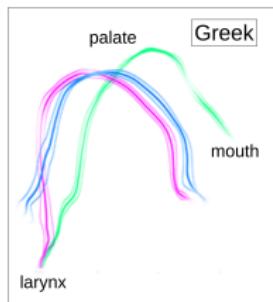


- ▶ Splinin sovitus ultraäänikuvaan tarkoittaa, että piirrämme kielen pinnan mukaisen käyrän ultraäänikuvaan - tai oikeastaan asetamme splinin ohjauspisteet niin että splini asettuu kielen pinnan kohdalle.
- ▶ Sovitus voidaan tehdä joko manuaalisesti tai automaattisesti.
- ▶ Nykyisin automaattinen menetelmä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

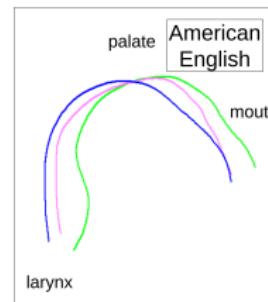
Splinit II

- ▶ 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



aka
iki
uku



ka
gi
gu

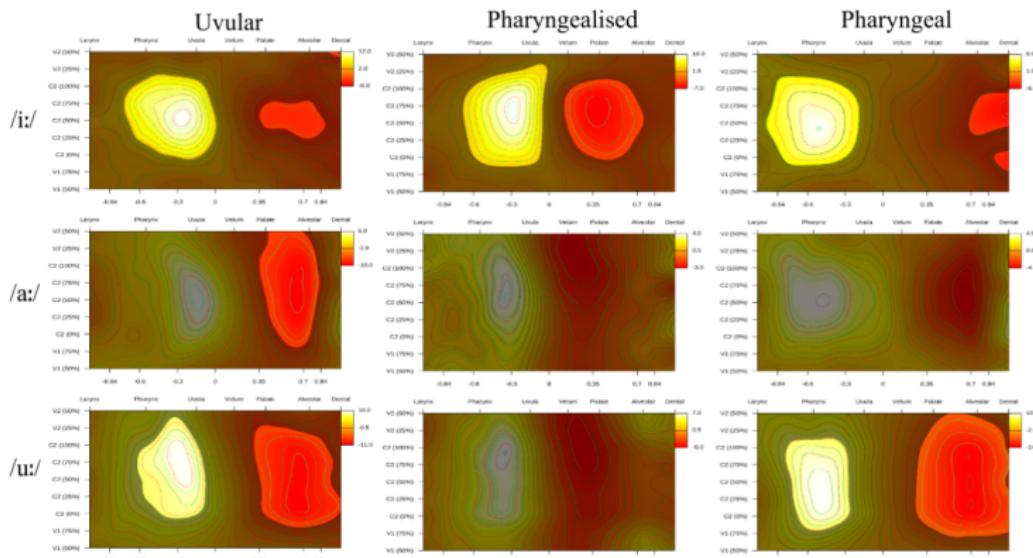
- ▶ Tässä on hyvä esimerkki siitä miten pääefekti voi olla näkyvissä suoraan pienessäkin datassa.

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

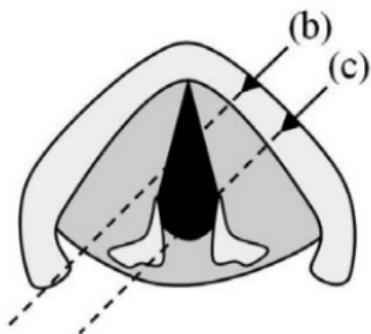
- ▶ Alla analyysituloksia jotka esiteltiin ISSP 2020-konferenssissa.
- ▶ Kuvissa y-akseli on aika (alhaalta ylös), x-akseli on paikka vasen-oikea = takana-edessä, ja vaalea väri tarkoittaa korkeampaa kielen asentoa, punaisempi/tummempi matalempaa.



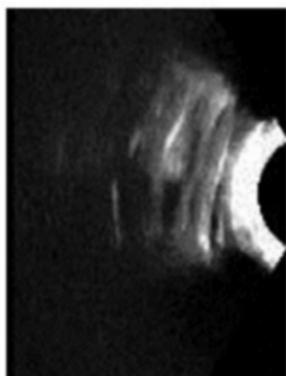
Lyhyt tauko (5 min)

Esimerkkiprojekti 4: Kurkunpään liikkeitä

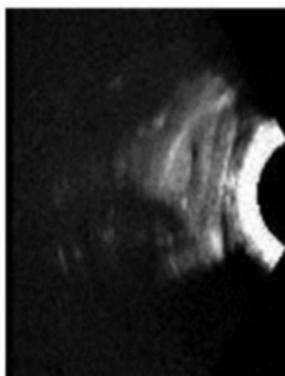
a) probe placement



b) slightly anterior



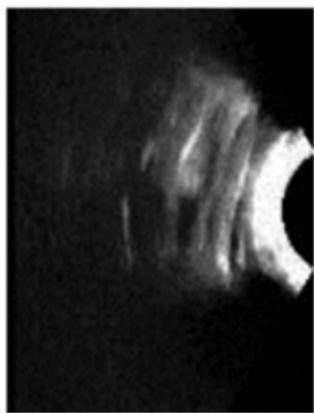
c) slightly posterior



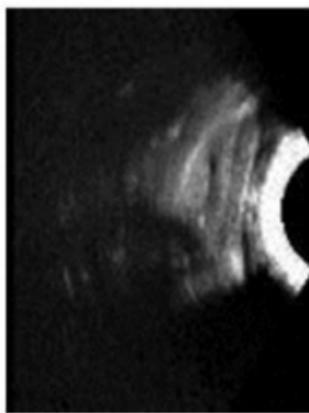
Scott R. Moisik, Hua Lin and John H. Esling (2014). A study of laryngeal gestures in Mandarin citation tones using simultaneous laryngoscopy and laryngeal ultrasound (SLLUS). Journal of the International Phonetic Association, 44, pp 21-58
doi:10.1017/S0025100313000327

Esimerkkiprojekti 4: Kurkunpään liikkeitä

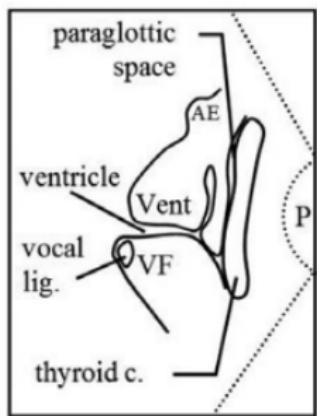
b) slightly anterior



c) slightly posterior



d) diagram of (c)



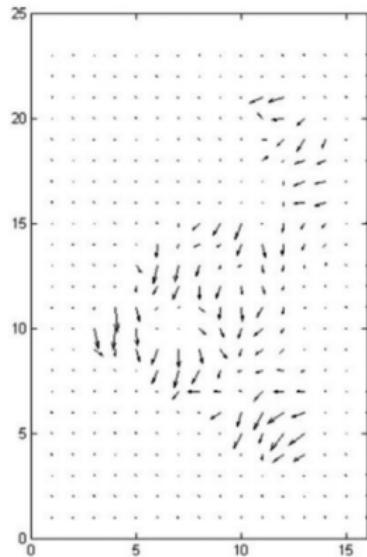
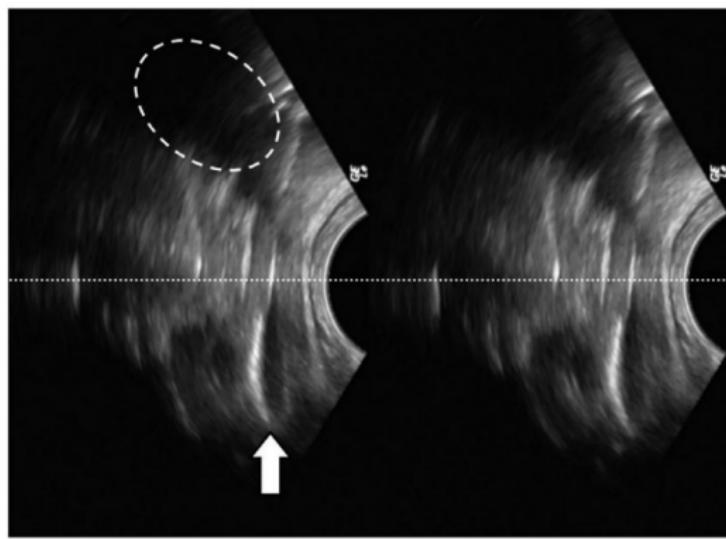
- Vent = valeäänihuuli, VF = äänihuuli, AE = aryepiglottaalinen poimu, P = anturi.

Esimerkkiprojekti 4: Kurkunpään liikkeitä

a) Frame 15
(current)

b) Frame 16
(next)

c) Resulting
Optical Flow



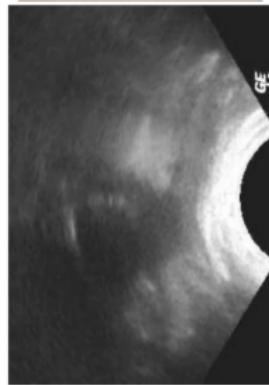
Moisik, S. R., Esling, J. H., Bird, S., & Lin, H. (2011). Evaluating laryngeal ultrasound to study larynx state and height. In W. S. Lee & E. Zee (Eds.), Proceedings of the 17th International Congress of Phonetic Sciences (pp. 136 – 139).

Kurkunpään ultraääni - anturivaihtoehtoja

8C-RS Probe



12L-RS Probe



- ▶ Samat rakenteet, erilainen anturi → erilainen kuva.

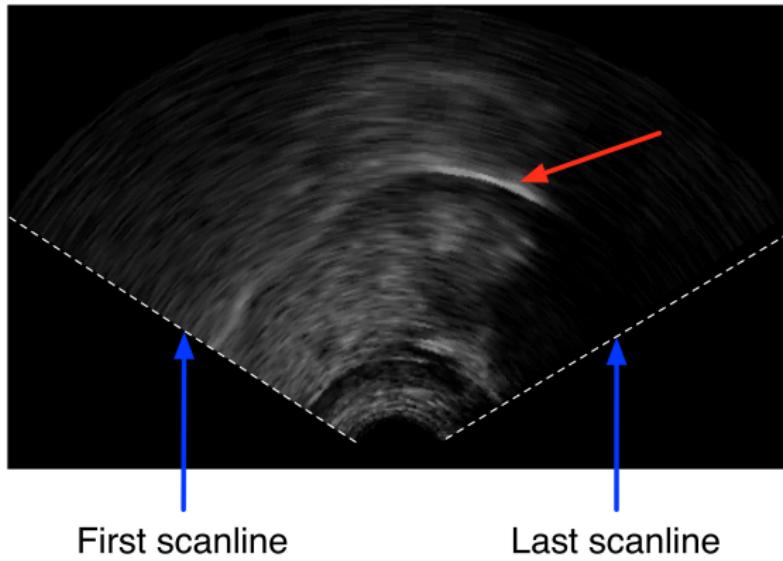
Kuvat: Moisik, S. R., Esling, J. H., Bird, S., & Lin, H. (2011). Evaluating laryngeal ultrasound to study larynx state and height. In W. S. Lee & E. Zee (Eds.), Proceedings of the 17th International Congress of Phonetic Sciences (pp. 136 – 139).

Esimerkkiprojekti 5: Äännettömän artikulaation kartoitusta

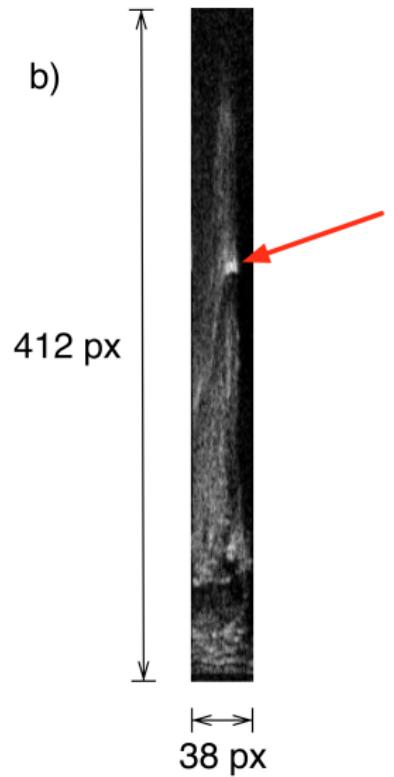
- ▶ Pertti Palo: Puhunnosten alkujen ajoitusta - väitöskirjadataa.
 - ▶ Aineistossa skottenglannin leksikaalisia /CVC/-sanoja.
 - ▶ Väitöskirjan päädäta.
 - ▶ Erinomainen aika- ja paikkaresoluutio, kuvat selkeitä.

Pikselietäisyys: Raakadata

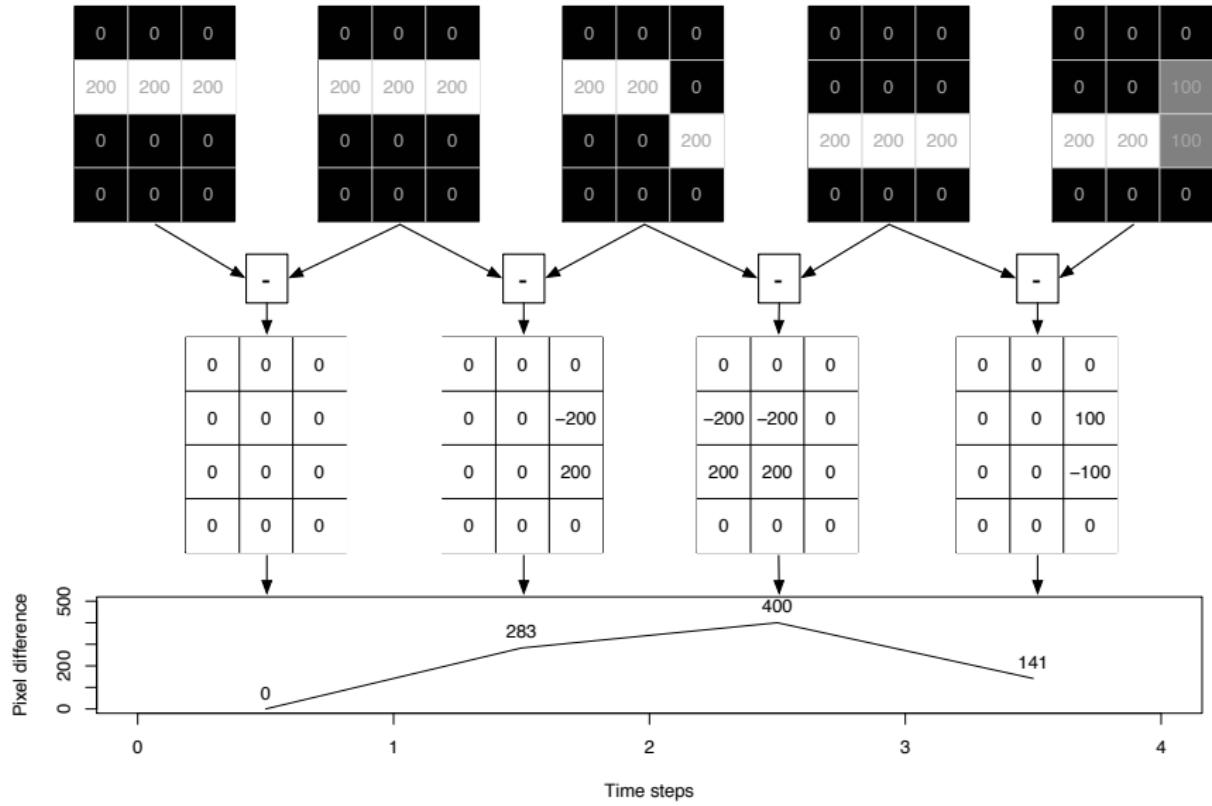
a)



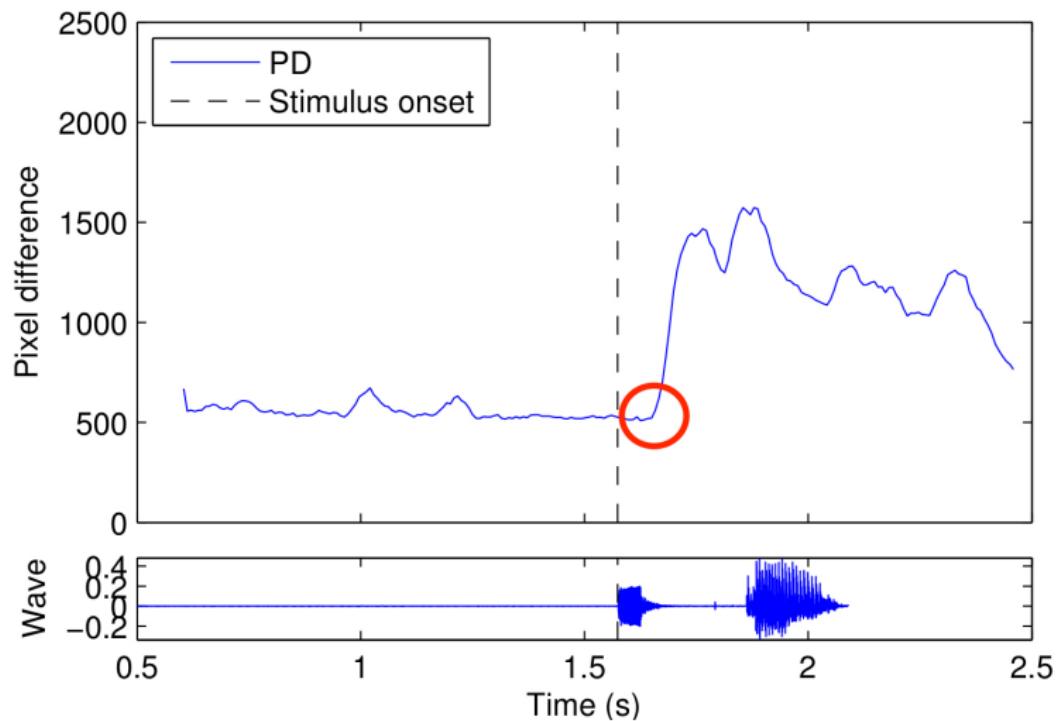
b)



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.

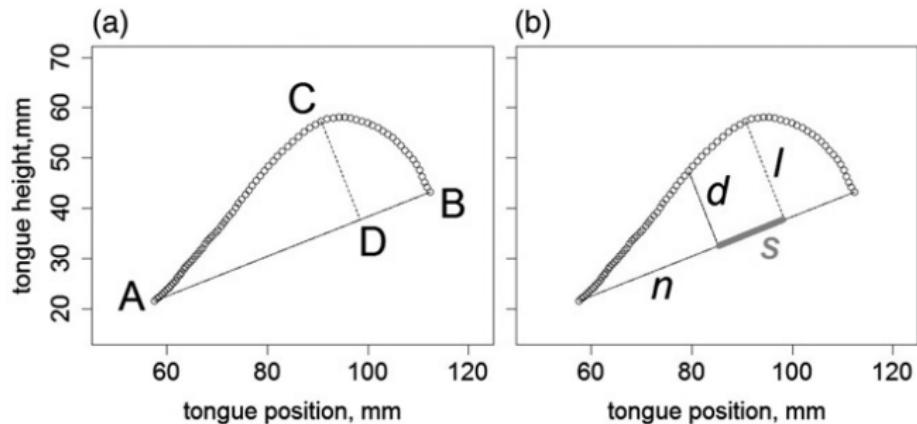
Artikulatorinen data

- ▶ 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

- Al-Tamimi, J. and Palo, P. (2025). Tongue contours in guttural consonants in levantine arabic: A generalised additive modelling approach (provisional title). In preparation.
- 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.
- Dahlgren, S. and Palo, P. (2025). Studying language-specific coarticulatory patterns with tongue ultrasound: The case of Finnish. In preparation.
- 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.
- Palo, P. (2019). *Measuring Pre-Speech Articulation*. PhD thesis, Queen Margaret University, Edinburgh.
- 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.