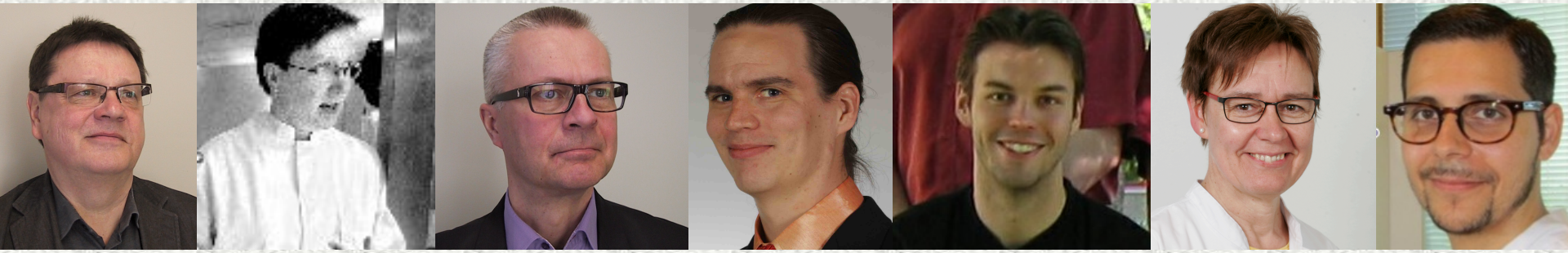
Ääntöväylän 3D-mallintaminen

TkT Daniel Aalto
TYKS, Suu- ja leukasairauksien klinikka

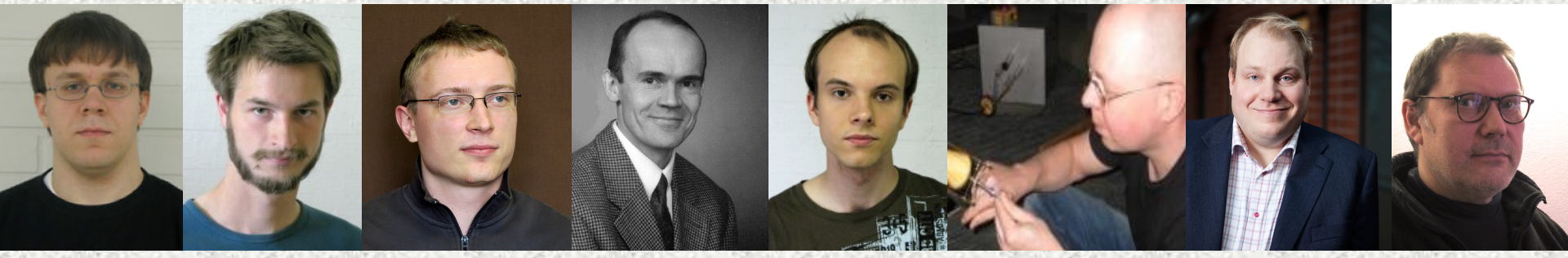
Tervehdys ryhmältämme!

- Turun yliopisto & TYKS: Prof. Risto-Pekka Happonen, Prof. Riitta Parkkola, Dos. Tero Soukka, TkT Daniel Aalto, TkT Jani Saunavaara, EHL Päivi Jääsaari, HLL Jean-Marc Luukinen



Tervehdys ryhmältämme!

- Aalto-yliopisto: Dos. Jarmo Malinen, Prof. Antti Hannukainen, Prof. Paavo Alku, TkL Tiina Murtola, DI Atte Aalto, DI Antti Huhtala, DI Atle Kivelä, DI Juha Kuortti, DI Antti Ojalammi
- Helsingin yliopisto: Prof. Martti Vainio, Prof. emeritus Olli Aaltonen, HuK Laura Altarriba

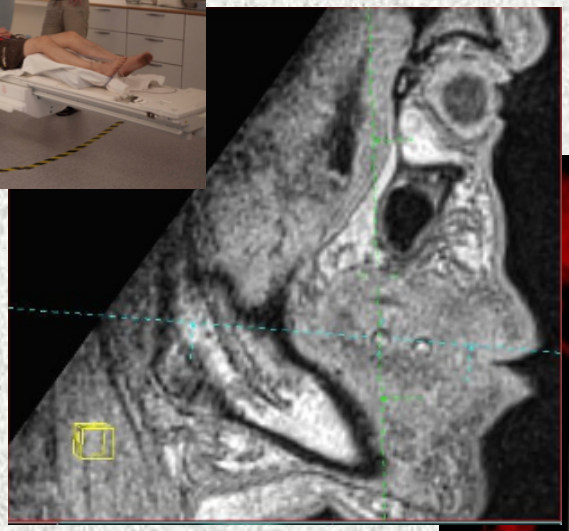


Ääntöväylän 3D-mallintaminen

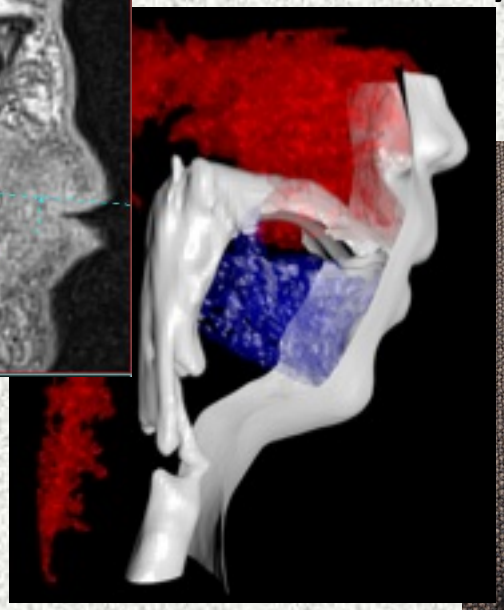
- Ääntöväylä koostuu supra-glottaalisista hengitysteistä
- Keskeiset funktiot: hengitys, puhe ja syöminen
- Miten suun ja leukojen kirurgia vaikuttaa näihin funktioihin?

Äänteväylän 3D-mallintaminen

Kuvantaminen



Kuvankäsittely



Tulostaminen

Miksi mallinnetaan?

- 3d-mallit havainnollistavat anatomiaa
- Kirurgiset apuvälineet (mm. splintit)
- Rekonstruktioiden suunnittelu

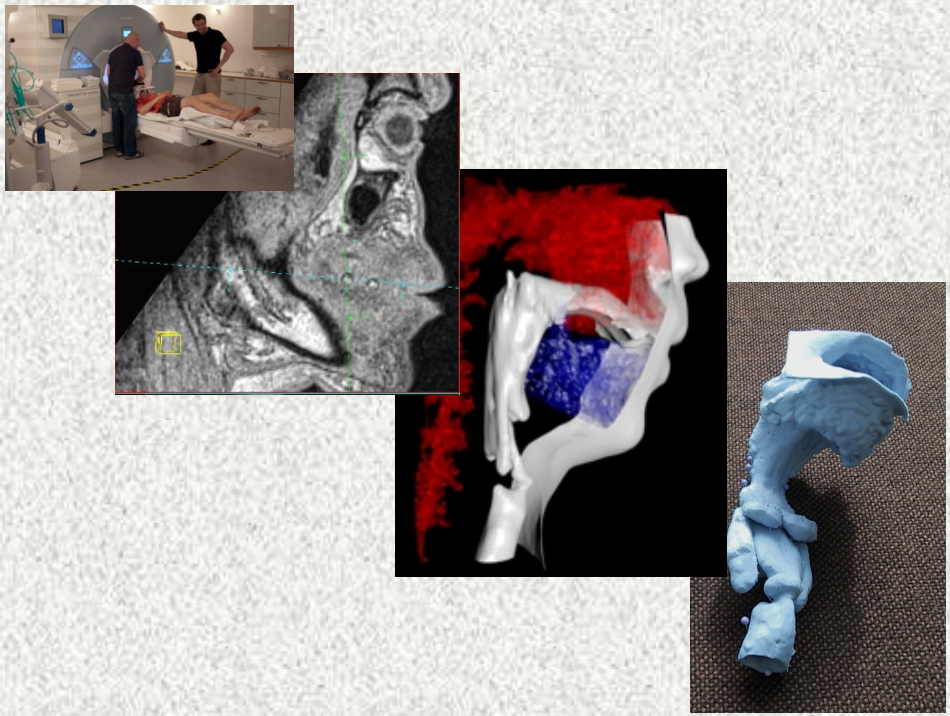
➔ Leikkausaika lyhenee; tarkkuus paranee

- Kirurgian yksilöllisiä vaikutuksia ennakoidaan

➔ Hoitovaihtoehtojen vertailu

Tämä esitelmä

Miten 3D-mallit luodaan?



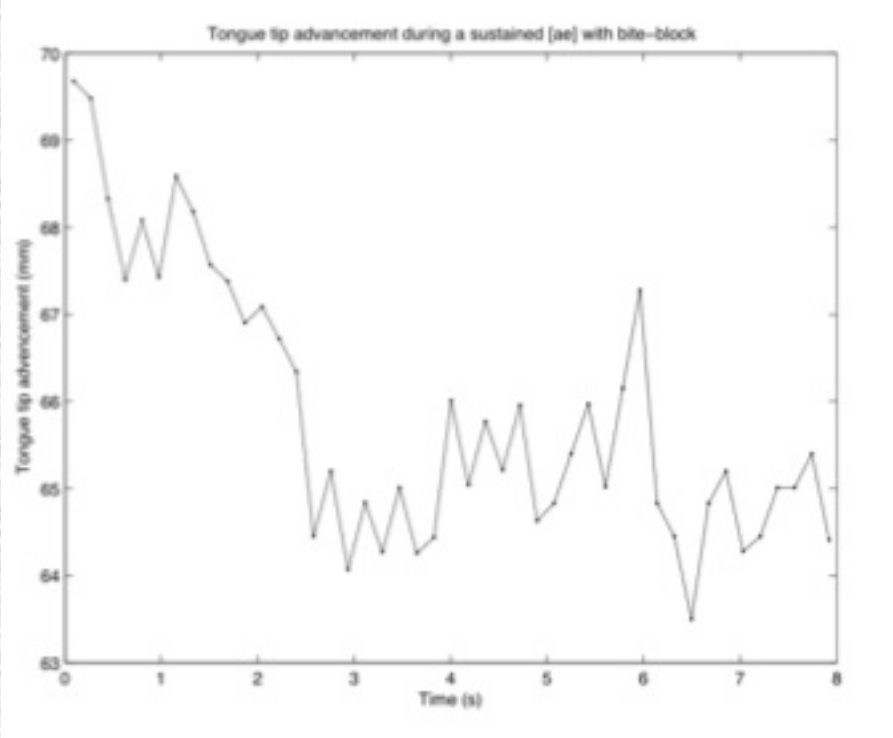
Miten puhetta mallinnetaan?

Kuvantamisesta 3d-tulosteeksi

Kuvantaminen

- Magneettikuvaus (MRI)
- Tietokonetomografia?

Äänttöväylän asento

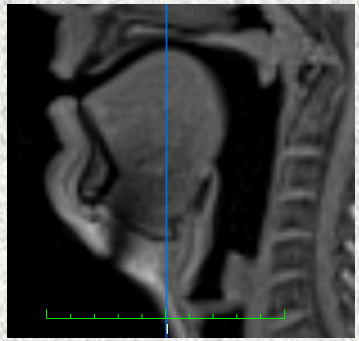


- Kuvausaika on melko pitkä (n. 10 s)
- Liikeartefaktit
- Bite-block stabiloi leuan – lisää kielen liikettä

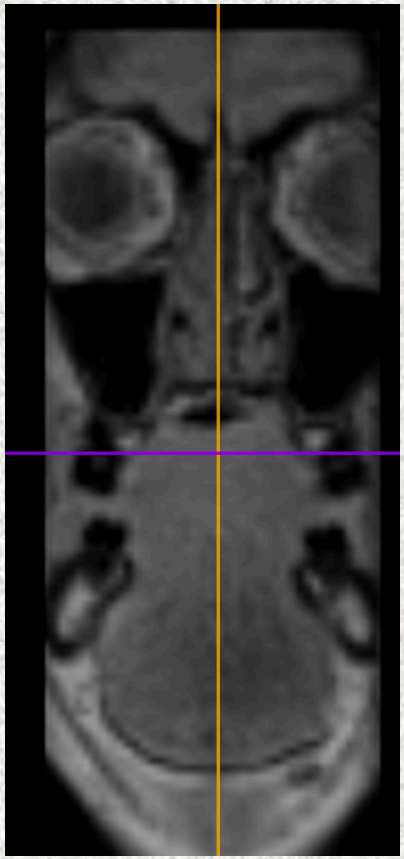
D. Aalto, J. Malinen, M. Vainio, J. Saunavaara ja P. Palo: Proc. XVII ICPhS, Hong Kong, pp. 180–183, 2011

Ääntöväylän stabilointi

- Artikulaatio stabiloi myös kielen!
- [i] harvoin nasaali

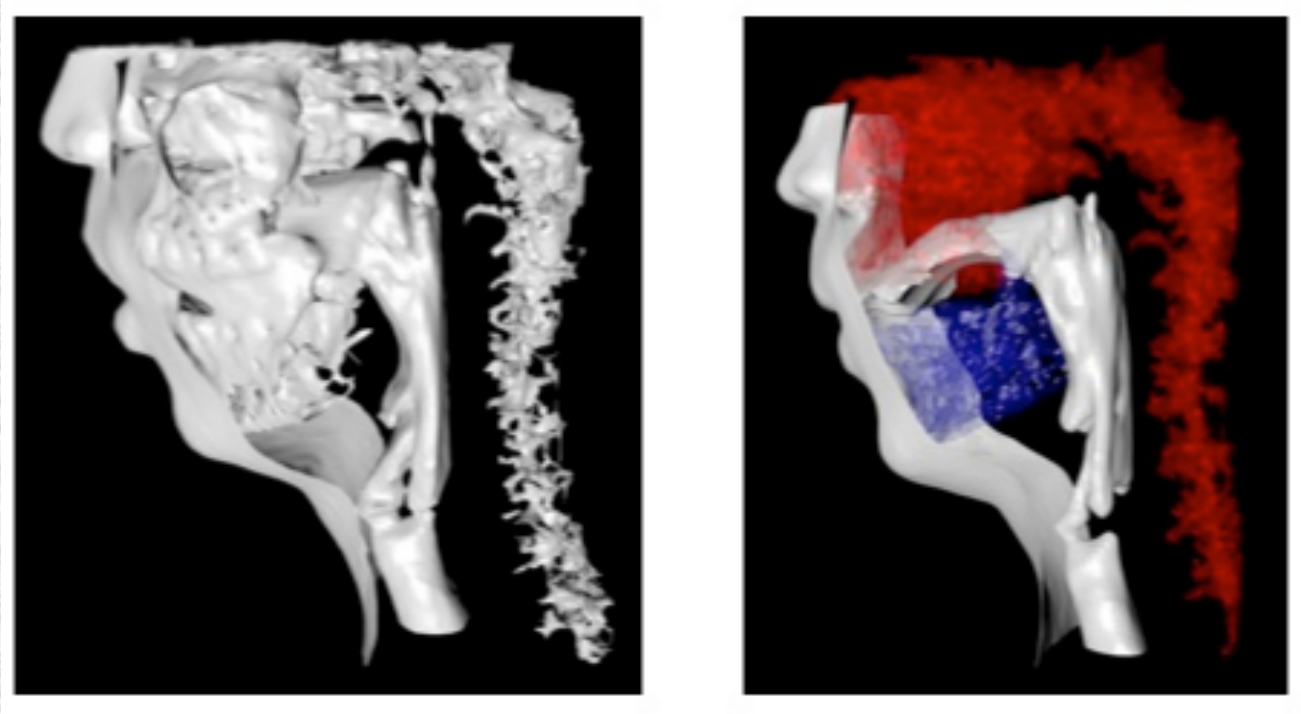


[i]



D. Aalto, J. Malinen, M. Vainio, J. Saunavaara ja P. Palo: Proc. XVII ICPhS, Hong Kong, pp. 180–183, 2011

Pintamallin luonti kuvista



D. Aalto, J. Helle, A. Huhtala, A. Kivelä, J. Malinen, J. Saunavaara ja T. Ronkka. Proc. Biodevices 2013, Barcelona, pp. 257–260, 2013.

Digitaalisesta fyysiseksi

- Additiivinen tulostaminen
- Materiaalina PLA-muovi
- Edullinen & havainnollinen

Puheen mallintaminen

Mitä puhe on?

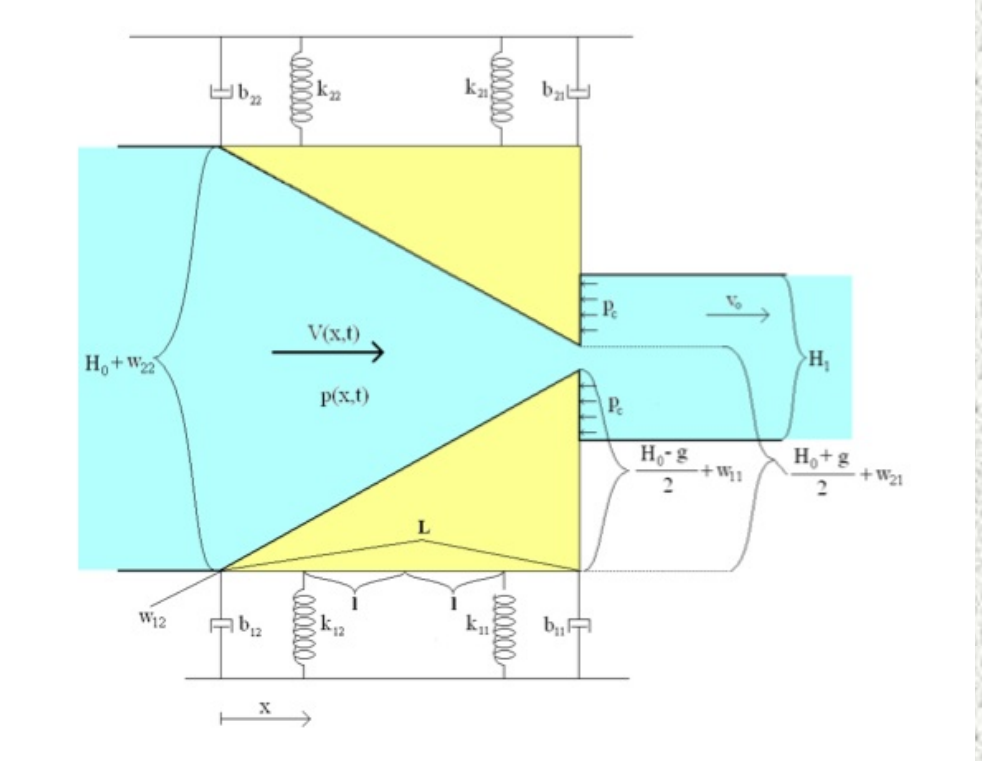
- Sosiaalisten suhteiden perusta
- Ääni on osa identiteettiä
- Artikulaatiolla ilmaistaan “ajatuksia”

Puheentuotto

Marin Mersenne 1638

- Subglottaalinen paine synnyttää virtauksen glottiksen läpi
- Äänihuulivärähtely, f0
- Supraglottaalinen artikulaatio muokkaa värähtelyn spektriä

Dico: Äänihuulimalli



A. Aalto, P. Alku ja J. Malinen. *Proc. 6th MAVEBA,* pp. 199-202, Firenze, 2009.

Äänihuulien liikeyhtälöt:

$$\begin{cases} \mathbf{M}_1\ddot{\mathbf{W}}_1(t) + \mathbf{B}_1\dot{\mathbf{W}}_1(t) + P\mathbf{K}_1\mathbf{W}_1(t) = -\mathbf{F}(t), \\ \mathbf{M}_2\ddot{\mathbf{W}}_2(t) + \mathbf{B}_2\dot{\mathbf{W}}_2(t) + P\mathbf{K}_2\mathbf{W}_2(t) = \mathbf{F}(t) \end{cases}$$

Ilmavirta glottiksen läpi

$$p_{sub} = \underbrace{\widehat{C}_{iner}\dot{v}_o(t)}_{\text{inertive pressure}} + \underbrace{\frac{C_g}{\Delta W_1(t)^3}v_o(t)}_{\text{viscous pressure loss}}$$

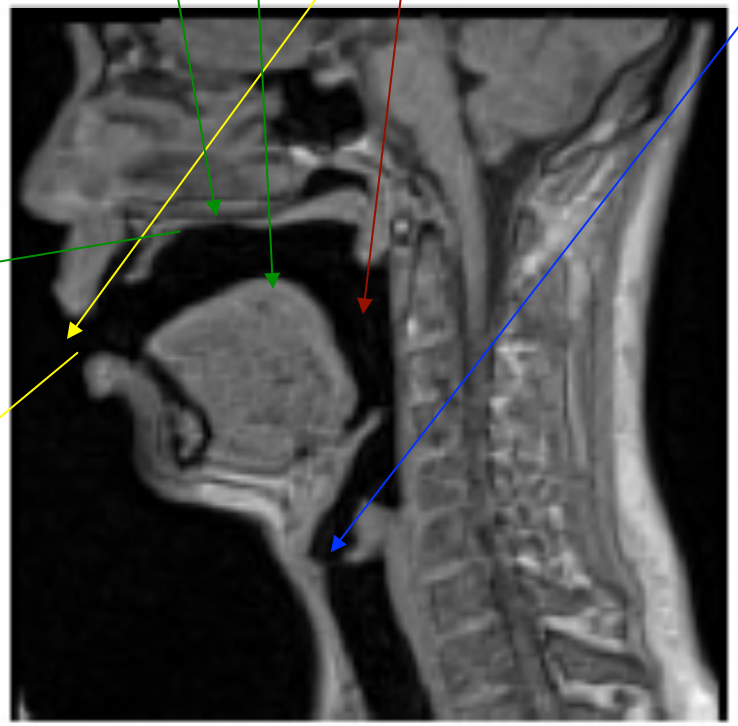
Ääntöväylän vastapaine:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2\Psi}{\partial t^2}(x,t) = \frac{c^2}{A(x)}\frac{\partial}{\partial x}\left(A(x)\frac{\partial\Psi}{\partial x}(x,t)\right), \qquad x \in [0, L_{VT}], \\ \Psi_x(0,t) = -v_o(t), \\ \Psi_t(L_{VT},t) + \theta c\Psi_x(L_{VT},t) = 0, \\ p_c(t) = \rho\Psi_t(0,t). \end{cases}$$

Dico: Äänttöväylämalli

$$\begin{cases} \Phi_{tt} = c^2 \Delta \Phi \text{ on } \Omega, \Phi = 0 \text{ on } \Gamma_1, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \nu} = 0 \text{ on } \Gamma_2, \Phi_t + c\frac{\partial \Phi}{\partial \nu} = 2\sqrt{\frac{c}{\rho_0}} u \text{ on } \Gamma_3, \end{cases}$$

Φ = virtuaaliääni



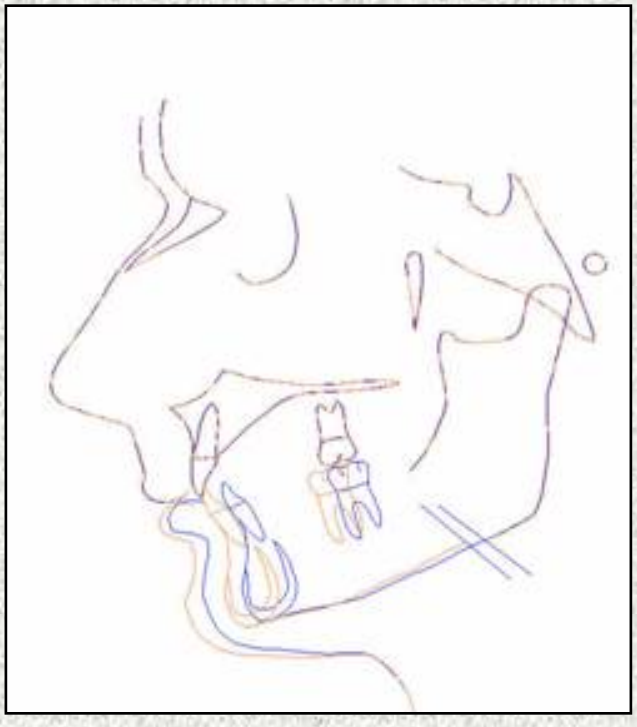
$$\lambda^2 \int_\Omega p_\lambda \phi \, d\Omega + \lambda_c \int_{\Gamma_3} p_\lambda \phi \, d\omega + c^2 \int_\Omega \nabla p_\lambda \cdot \nabla \phi \, d\Omega = 0$$

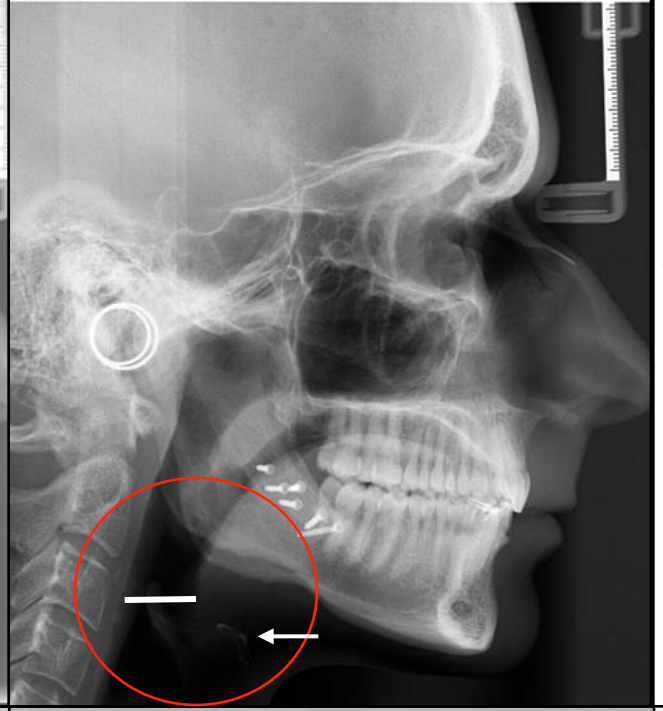
λ = Formanttitaajuus

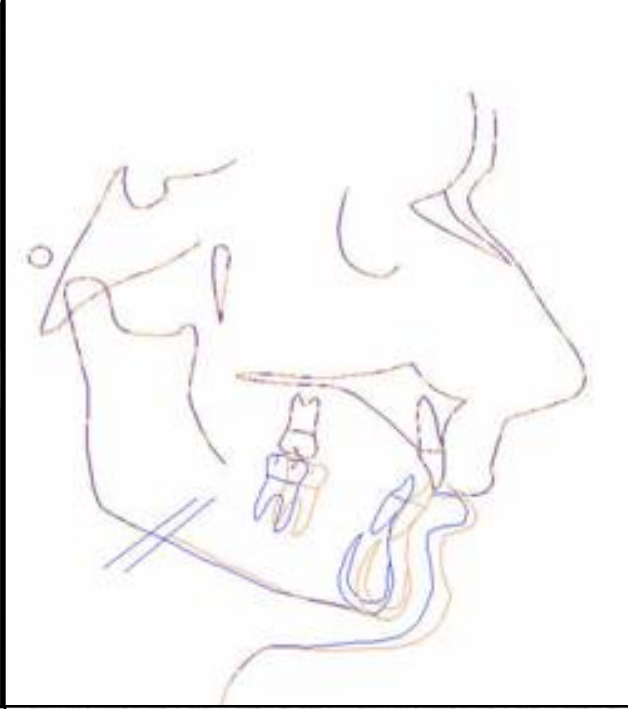
A. Hannukainen, T. Lukkari, J. Malinen ja P. Palo: J. Acoust. Soc. Am. 122(1):EL1-EL7, 2007.

Mallin validointi

- Tavoite: Laskennallisen mallin kehittäminen kirurgian puhevaikutuksien ennustamiseksi
- Aineisto: 20 ortognaattisen kirurgian potilasta
- Staattisia vokaalituotoksia
  - Digitaalinen 3d-geometria
  - Geometriaa vastaava ääni
  - + Keskisagittaalivideoita puheesta



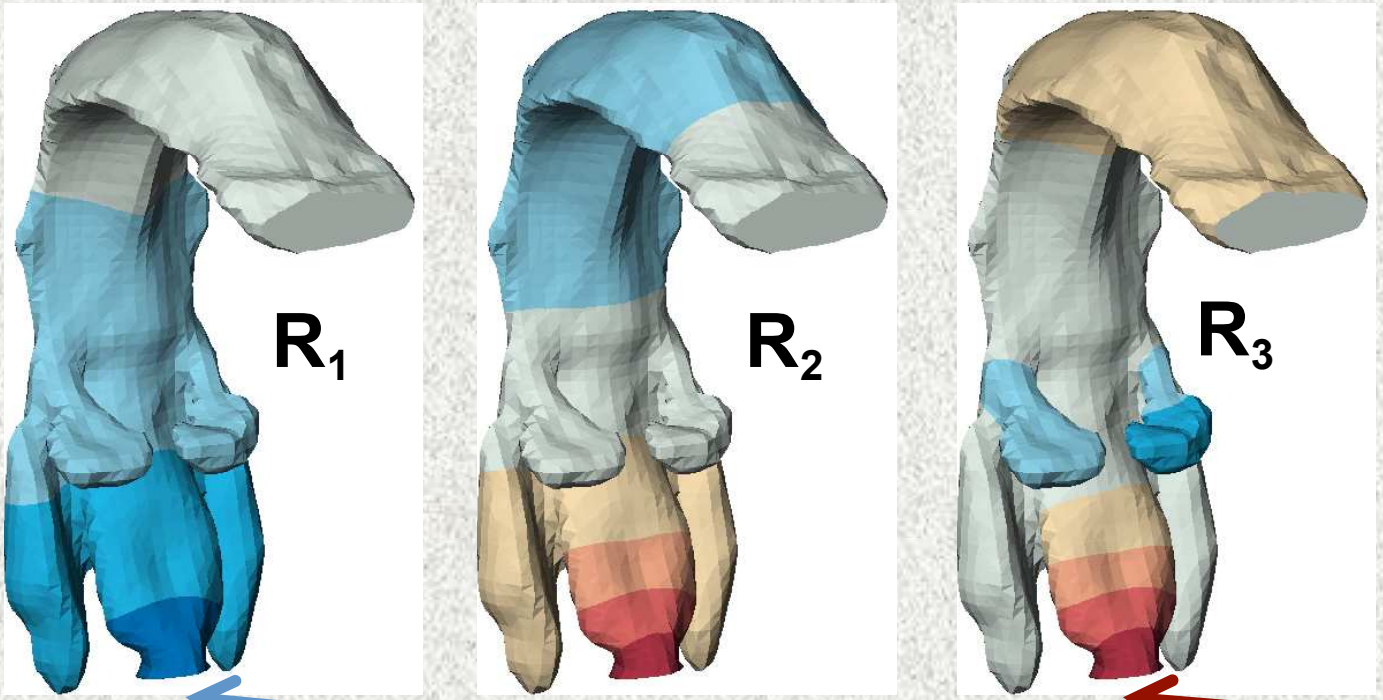




Mahdollisuus mitata puhetta ennen ja jälkeen anatomian muuttamista

Niemi M, Laaksonen J-P, Peltomäki T, Kurimo J, Aaltonen O, Happonen R-P. An acoustic comparison of vowel sounds produced before and after orthognatic surgery. J Oral Maxillofac Surg. 2006,64,910-916

Dico: Yhtälöiden ratkaisu



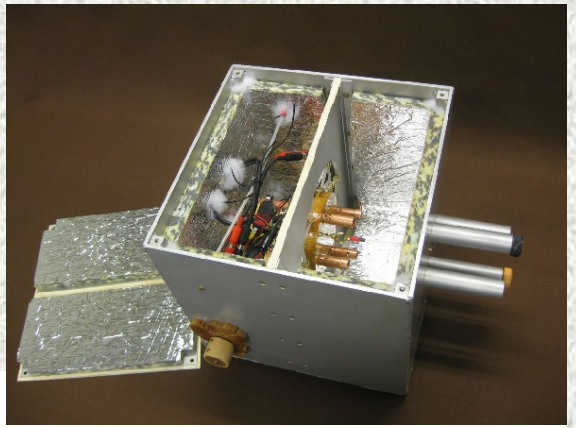
Seisovat aallot

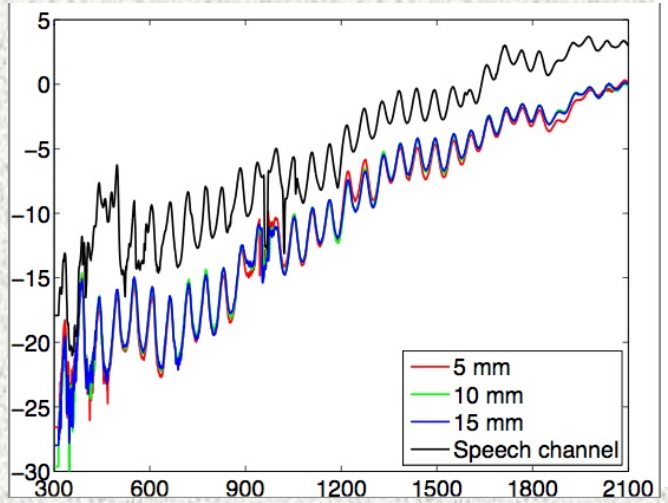
Korkea paine

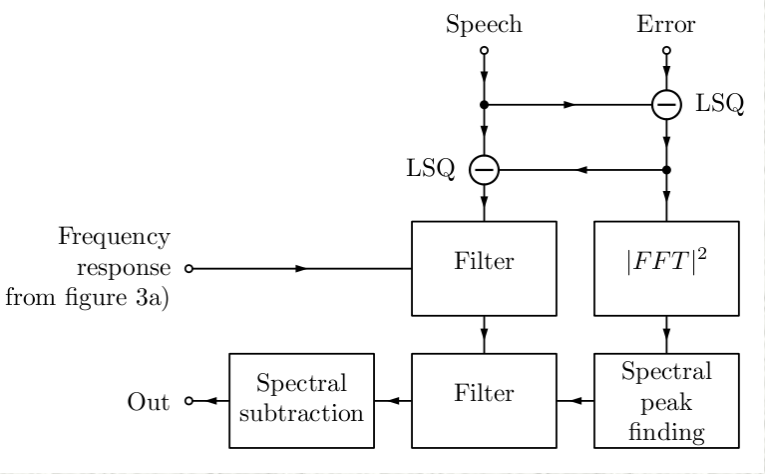
Matala paine

A. Kivelä, J. Kuortti, and J. Malinen. *Proc. NSCM26*, pp. 112-115, 2013.

Äänittäminen magneetissa

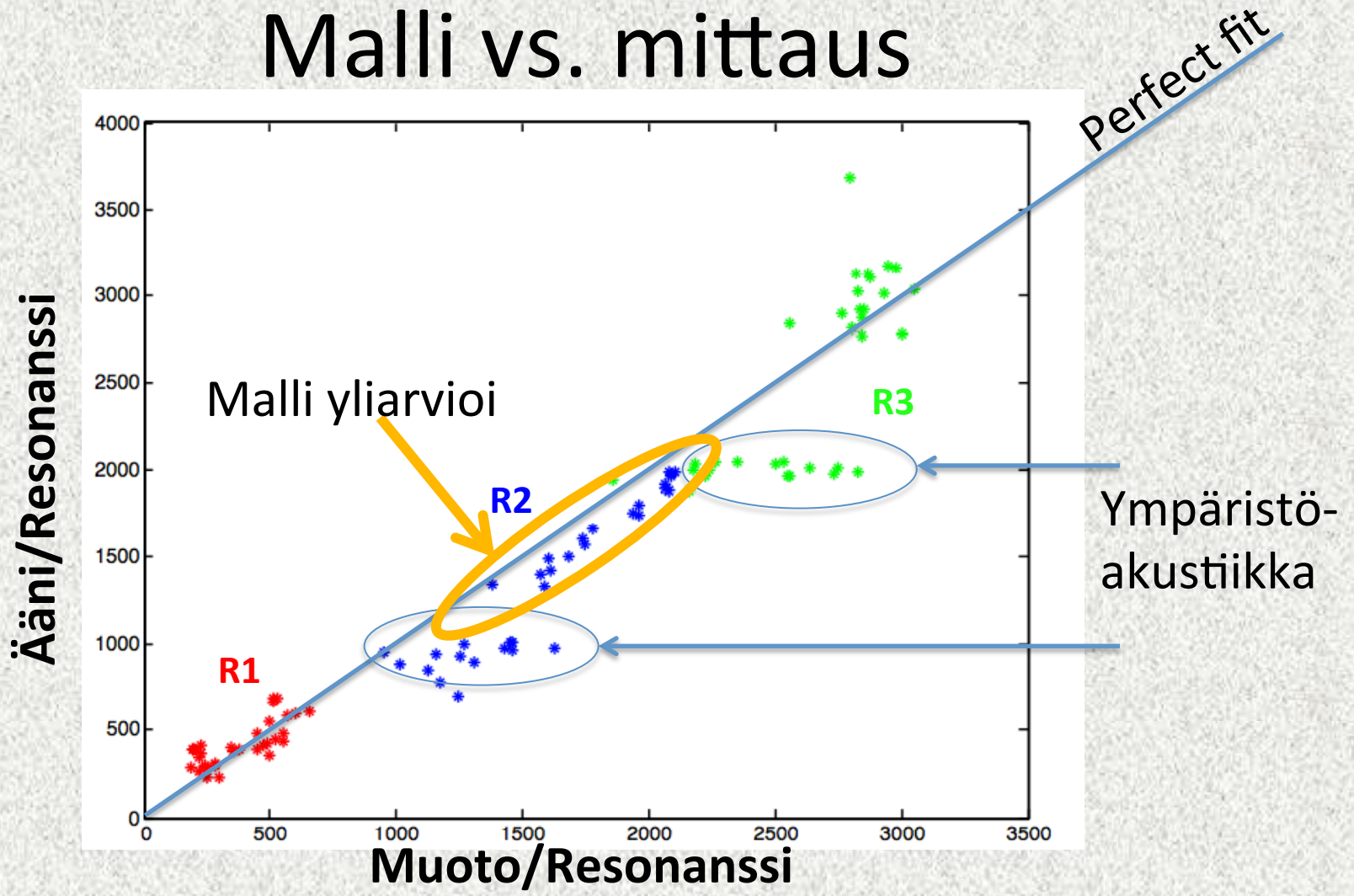






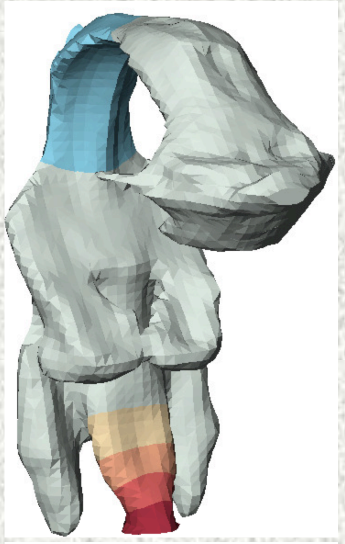
D. Aalto, O. Aaltonen, R.-P. Happonen, J. Malinen, P. Palo, R. Parkkola, J. Saunavaara ja M. Vainio. Proc. Biodevices 2011, Rome, pp. 168–173, 2011.

Malli vs. mittaus



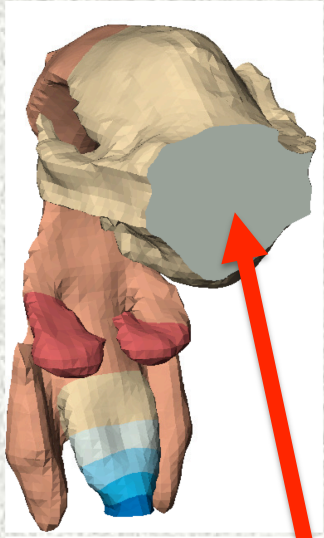
D. Aalto, O. Aaltonen, R-P. Happonen, P. Jääsaari, A. Kivelä, J. Kuortti, JM. Luukinen, J. Malinen, T. Murtola, R. Parkkola, J. Saunavaara, T. Soukka ja M. Vainio. Applied Acoustics, Vol. 83, pp. 64–75, 2014.

Ulkotilan huomioiminen



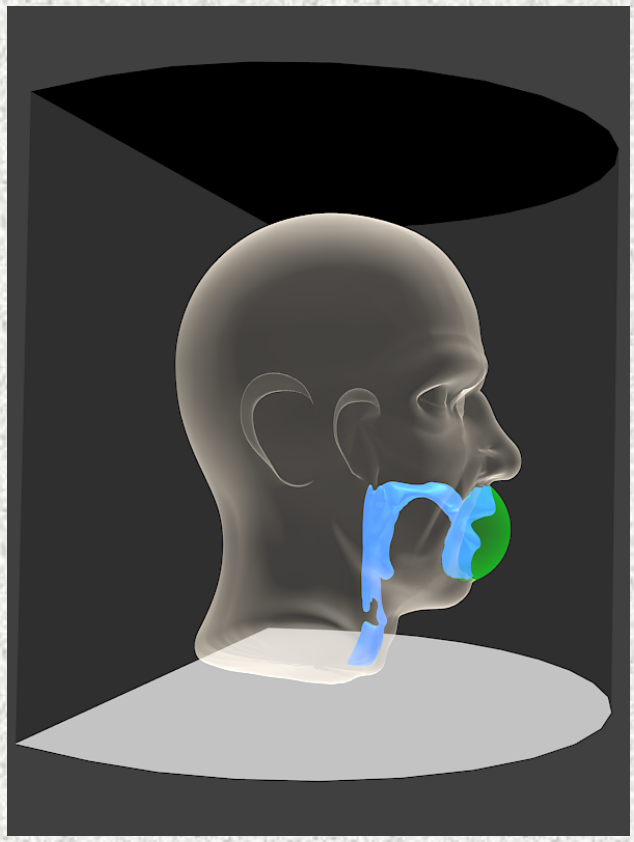
[u]

R_2 = 1210 Hz



[a]

R_2 = 1480 Hz

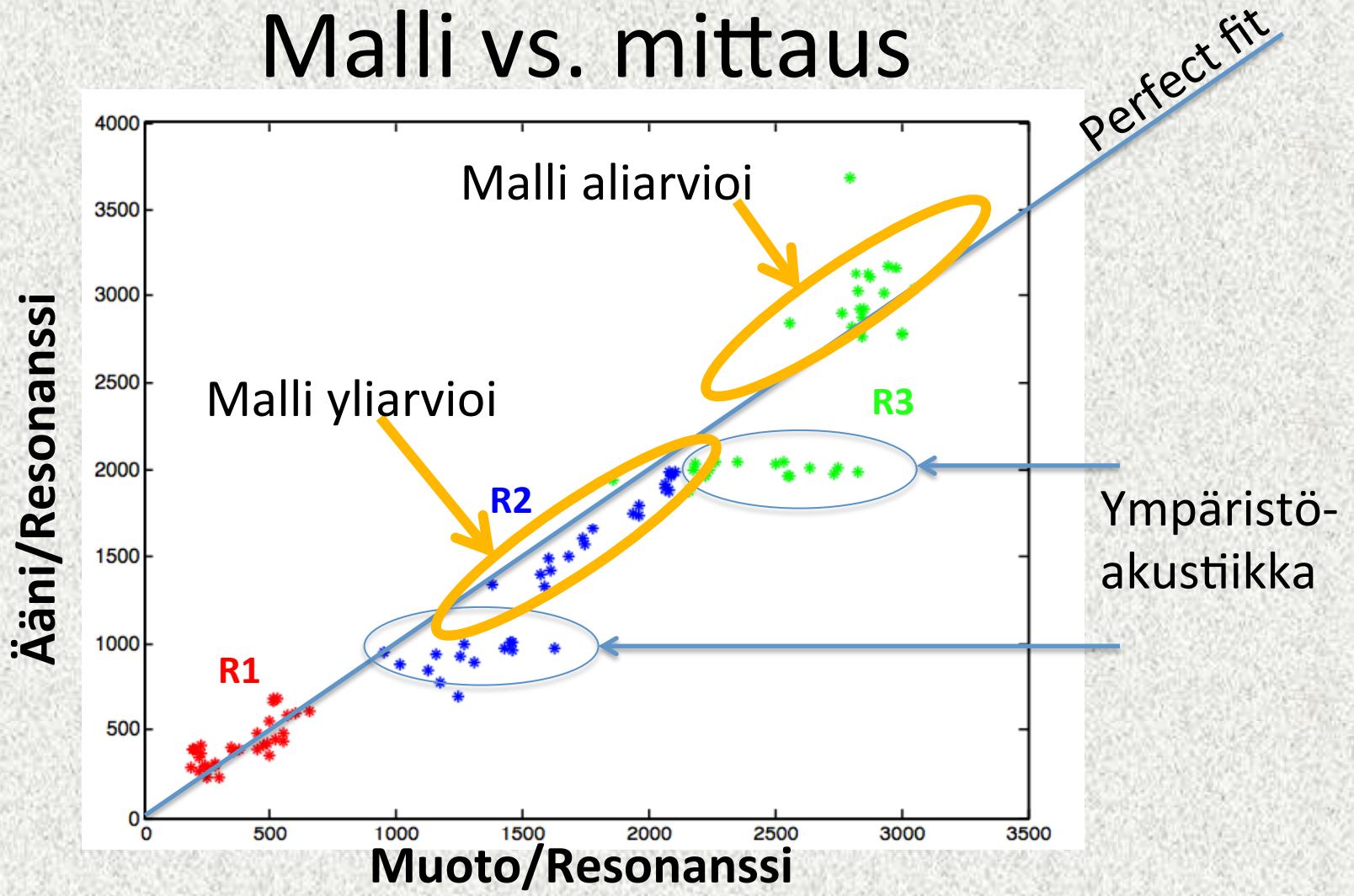


[i]

R_2 = 2070 Hz

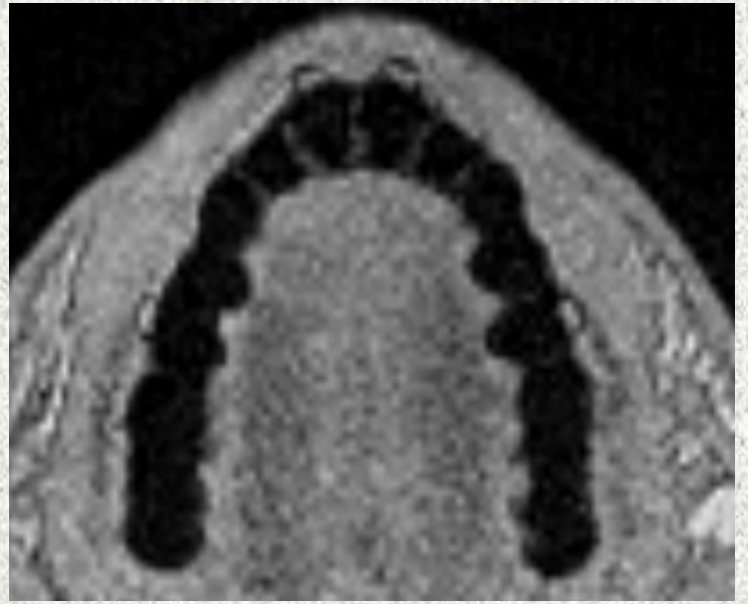
Kontaktipinta sisä- ja ulkotilan välillä

Malli vs. mittaus

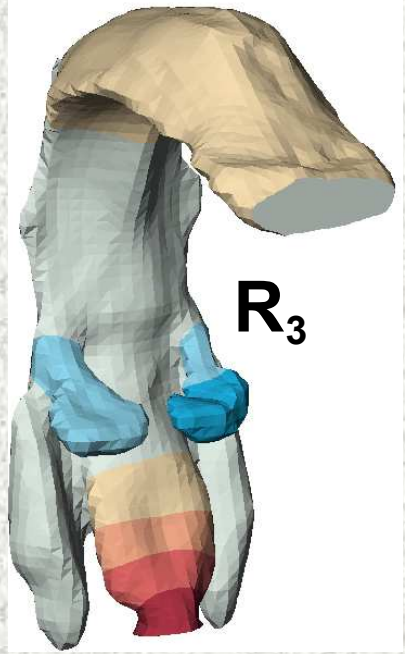


D. Aalto, O. Aaltonen, R-P. Happonen, P. Jääsaari, A. Kivelä, J. Kuortti, JM. Luukinen, J. Malinen, T. Murtola, R. Parkkola, J. Saunavaara, T. Soukka ja M. Vainio. Applied Acoustics, Vol. 83, pp. 64–75, 2014.

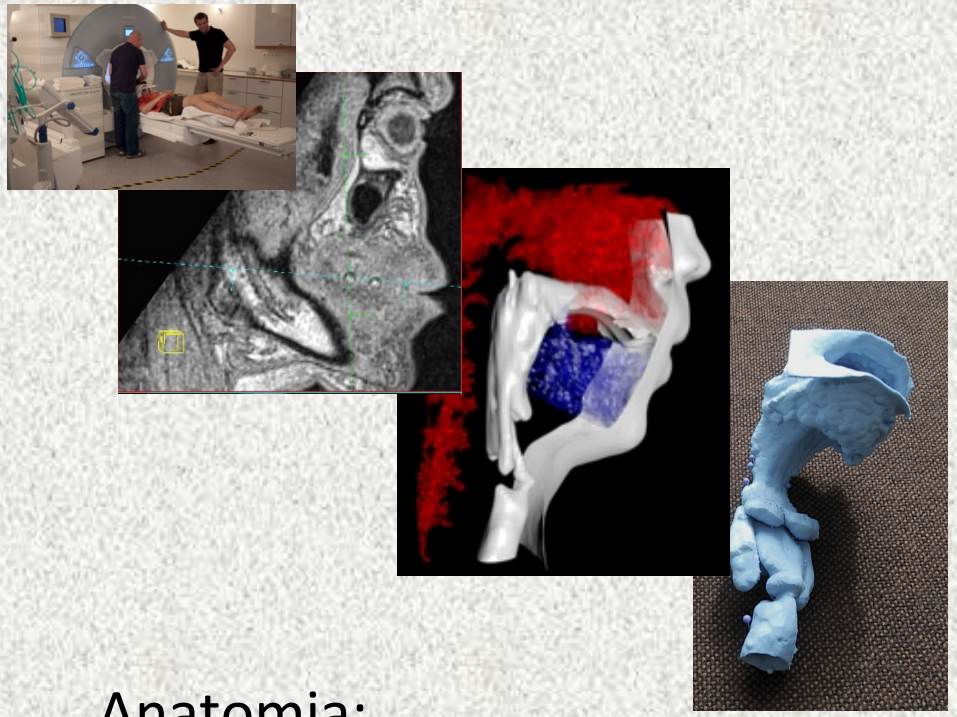
Magneetti & hampaat



- Magneettikuvassa hampaat erottuvat huonosti ilmasta
- Metalleista artefakteja (mm. amalgaamipaikat)

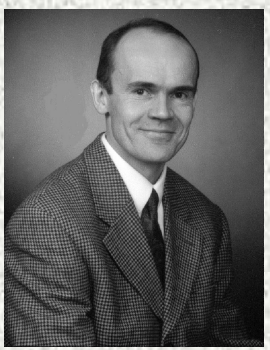
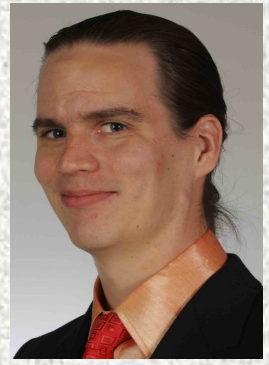


3d-mallintamisen hyödyntäminen



Anatomia:
- Demonstraatiot
- Kirurgiset apuvälineet
- Leikkausten suunnittelu
- Rekonstruktioiden suunnittelu

Funktiot:
- Syöminen
- Hengittäminen
- Puhuminen



Kiitos!