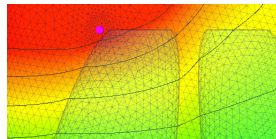
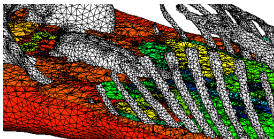
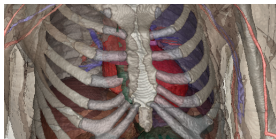


# Создание персонализированных моделей биоимпедансных измерений

Александр Данилов, Василий Крамаренко, Александра Юрова

Институт вычислительной математики РАН, Москва

Абрау-Дюрсо, 17 сентября 2013



# Биоимпедансные измерения



- Импедансная томография/кардиография
- Биоимпедансный анализ (БИА) состава тела

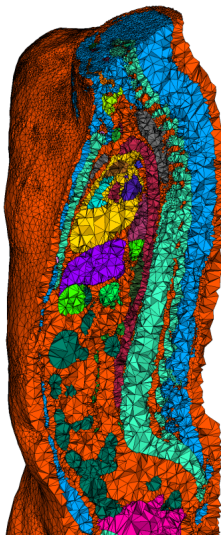


- Измеряется величина импеданса для нескольких частот
- Локальные, сегментные и полисегментные схемы
- Оценивается гидратация, безжировая, активная клеточная, скелетно-мышечная масса и др.

Неинвазивность, оперативность, портативность, простота и удобство

Николаев Д.В. и соавт. Биоимпедансный анализ состава тела человека. М.: Наука, 2009. 392с.

# Математическая модель



$$\begin{aligned}\operatorname{div}(\mathbf{C}\nabla U) &= 0 && \text{в } \Omega \\ \mathbf{J}_n &= \pm I/S_{\pm} && \text{на } \Gamma_{\pm} \\ \mathbf{J}_n &= 0 && \text{на } \partial\Omega \setminus \Gamma_{\pm}\end{aligned}$$

$U$  – потенциал электрического поля

$\mathbf{C}$  – тензор удельной проводимости

$\mathbf{E} = \nabla U$  – напряжённость поля

$\mathbf{J} = \mathbf{C} \mathbf{E}$  – плотность тока

$I$  – зондирующий ток

$S_{\pm}$  – площадь контакта электродов

P1 МКЭ (AniFEM из Ani3D)

# Поле чувствительности



$\mathbf{J}_{cc}$  – линии тока для  
токовых электродов



$\mathbf{J}_{reci}$  – линии тока для  
потенциальных электродов



поле чувствительности

$$S = \mathbf{J}_{reci} \cdot \mathbf{J}_{cc}$$

$$Z_t = \int_{\Omega} S(x, y, z) \rho(x, y, z) dv$$

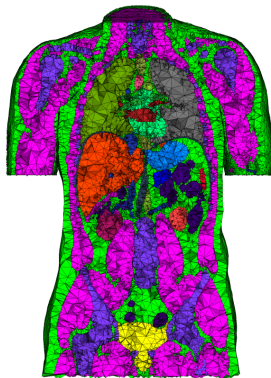
# Технологическая цепочка моделирования

Сегментация



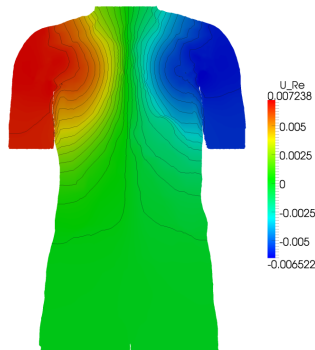
ITK-SNAP

Сетки



CGAL Mesh

МКЭ

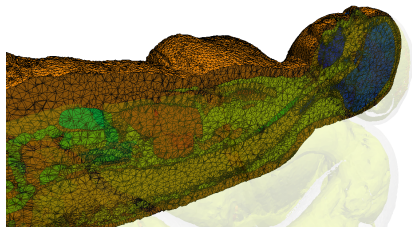
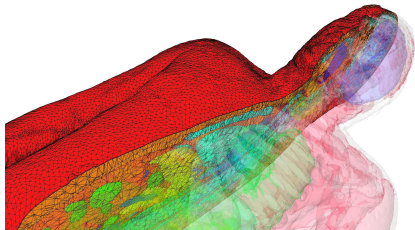
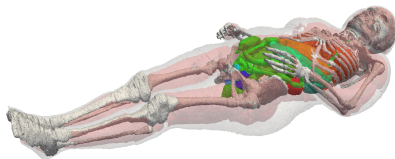


Ani3D

ParaView

A. A. Danilov, D. V. Nikolaev, S. G. Rudnev, V. Yu. Salamatova and Yu. V. Vassilevski, Modelling of bioimpedance measurements: unstructured mesh application to real human anatomy. *Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling* (2012) 27, No 5, 431–440

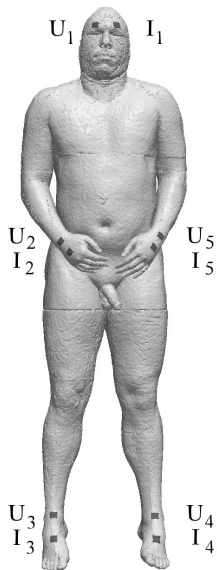
# Модели тел для Visible Human Project



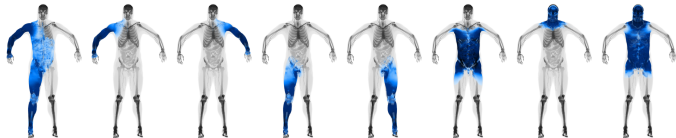
3.3 – 3.5 млн тетраэдров

# 10-электродная полисегментная схема БИА

## Анализ чувствительности

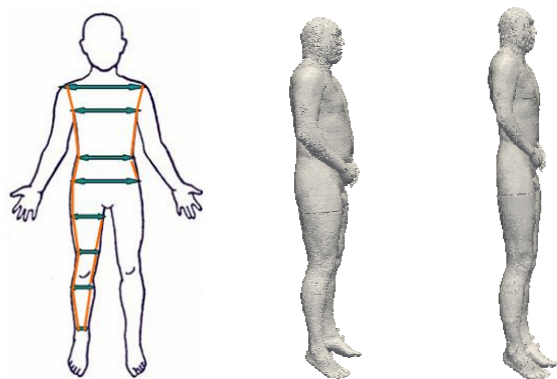


- классическая схема ( $I_2$ - $I_3$ ,  $U_2$ - $U_3$ )
- руки ( $I_2$ - $I_1$ ,  $U_2$ - $U_3$ ) и ( $I_5$ - $I_1$ ,  $U_5$ - $U_4$ )
- ноги ( $I_3$ - $I_2$ ,  $U_3$ - $U_4$ ) и ( $I_4$ - $I_5$ ,  $U_4$ - $U_3$ )
- туловище ( $I_5$ - $I_3$ ,  $U_2$ - $U_4$ ) и ( $I_5$ - $I_4$ ,  $U_2$ - $U_3$ )
- голова ( $I_1$ - $I_2$ ,  $U_1$ - $U_5$ )
- голова+туловище ( $I_1$ - $I_3$ ,  $U_1$ - $U_4$ )



A. A. Danilov, V. K. Kramarenko, D. V. Nikolaev, S. G. Rudnev, V. Yu. Salamatova, A. V. Smirnov and Yu. V. Vassilevski, Sensitivity field distributions for segmental bioelectrical impedance analysis based on real human anatomy. *J. Phys.: Conf. Ser.* (2013) 434, 012001, doi: 10.1088/1742-6596/434/1/012001.

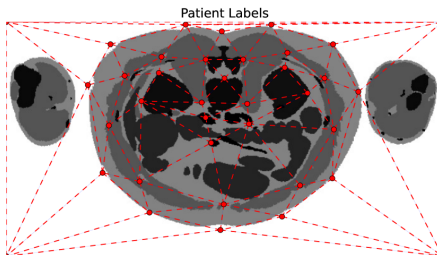
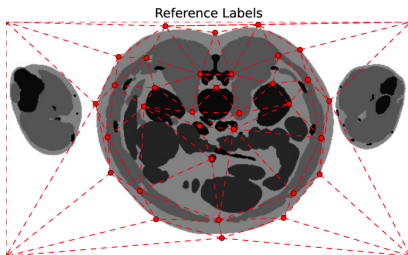
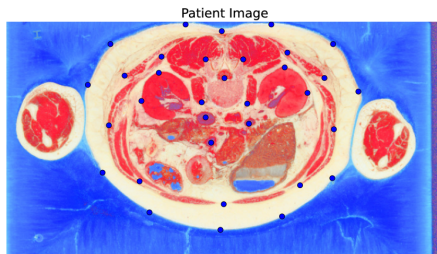
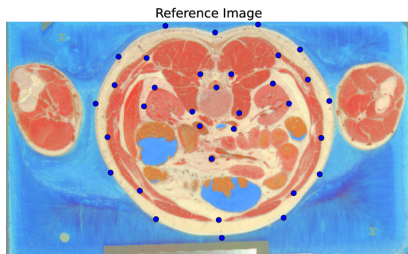
# Антропометрическая адаптация



Простейший вариант адаптации модели



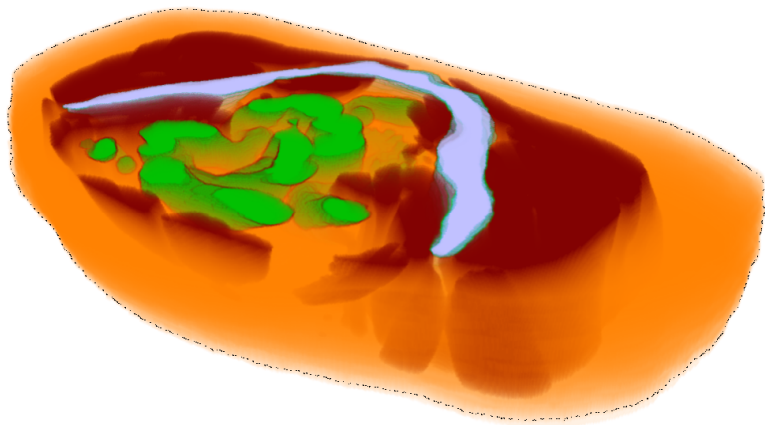
# Адаптация по контрольным точкам



Кусочно-аффинное отображение в контрольной плоскости

# Адаптация по контрольным плоскостям

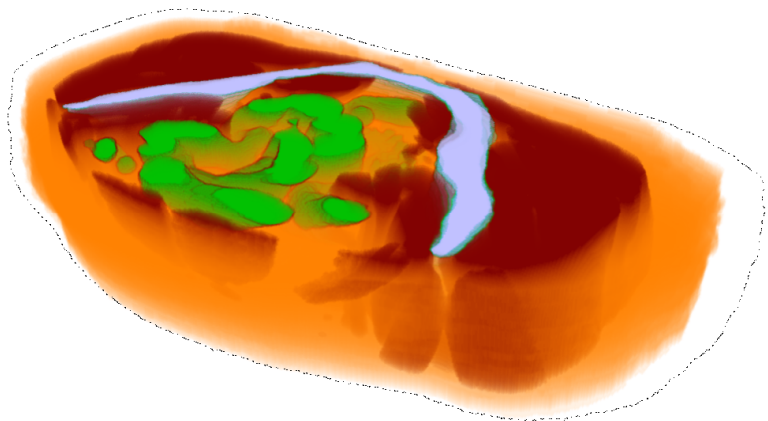
Линейная комбинация двух отображений между плоскостями



Уменьшение внешнего жирового слоя

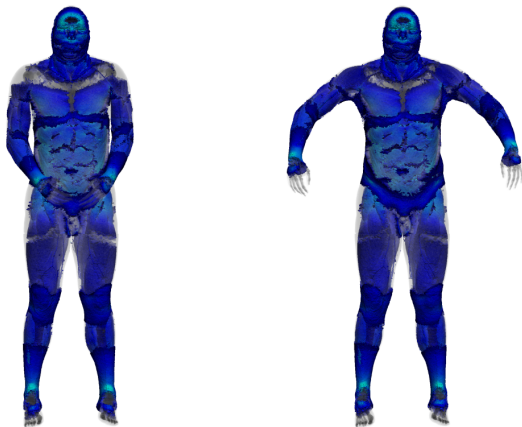
# Адаптация по контрольным плоскостям

Линейная комбинация двух отображений между плоскостями



Уменьшение внешнего жирового слоя

# Адаптация положения конечностей пациента



Влияние положения рук при полисегментном БИА состава тела

# Спасибо за внимание!

- Василевский Ю.В., Данилов А.А., Николаев Д.В., Руднев С.Г., Саламатова В.Ю., Смирнов А.В. Конечно-элементный анализ задач биоимпедансной диагностики *ЖВМиМФ* (2012) 52, №4, 733–745
- A. A. Danilov, D. V. Nikolaev, S. G. Rudnev, V. Yu. Salamatova and Yu. V. Vassilevski, Modelling of bioimpedance measurements: unstructured mesh application to real human anatomy. *Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling* (2012) 27, No 5, 431–440
- A. A. Danilov, V. Yu. Salamatova and Yu. V. Vassilevski, Mesh generation and computational modeling techniques for bioimpedance measurements: an example using the VHP data. *J. Phys.: Conf. Ser.* (2012) 407, 012004, doi: 10.1088/1742-6596/407/1/012004
- A. A. Danilov, V. K. Kramarenko, D. V. Nikolaev, S. G. Rudnev, V. Yu. Salamatova, A. V. Smirnov and Yu. V. Vassilevski, Sensitivity field distributions for segmental bioelectrical impedance analysis based on real human anatomy. *J. Phys.: Conf. Ser.* (2013) 434, 012001, doi: 10.1088/1742-6596/434/1/012001
- Danilov A.A., Kramarenko V. K., Nikolaev D.V. and Yurova A. S., Personalized model adaptation for bioimpedance measurements optimization. *Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling* (2013) (в печати)

<http://www.inm.ras.ru/research/bioimpedance>