

CHIBA
UNIVERSITY

TOMOCLLOUD

リンパ浮腫トモグラフィック・モニタの研究開発

Research & development of lymphedema tomographic monitor

千葉大学大学院

融合理工学府博士前期課程2年 小川良磨

工学研究院教授

武居昌宏

Ethical Approval and Informed Consent

According to Chiba University ethical code 29-13, all subjects gave written informed consent for the study after receiving a detailed explanation for the purposes, potential benefits, and risks associated with participation. All study procedures were conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and the research code of ethics of Chiba University and were approved by the Committee for Human Experimentation of Chiba University.

リンパ浮腫とは

- 乳がんや婦人科がんの手術後20~30%発症¹⁻²⁾
- 進行性の慢性疾患で、早期発見が重要
- QOL（生活の質）著しい低下



0期

I期

II期

Ⅲ期

¹⁾Cormier JN, *Cancer* (2010)

²⁾Zou L, *Breast Cancer* (2018)

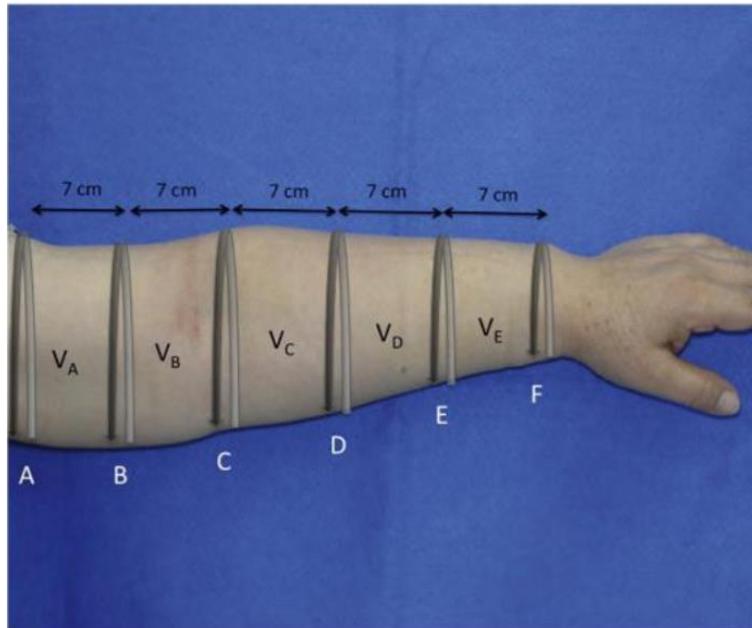
リンパ浮腫の治療

硬い包帯や弾性着衣による保存治療を毎日行う



リンパ浮腫の診断

現在の診断技術は不十分⇒手遅れになりやすい



周径計測



シンチグラフィ¹⁾



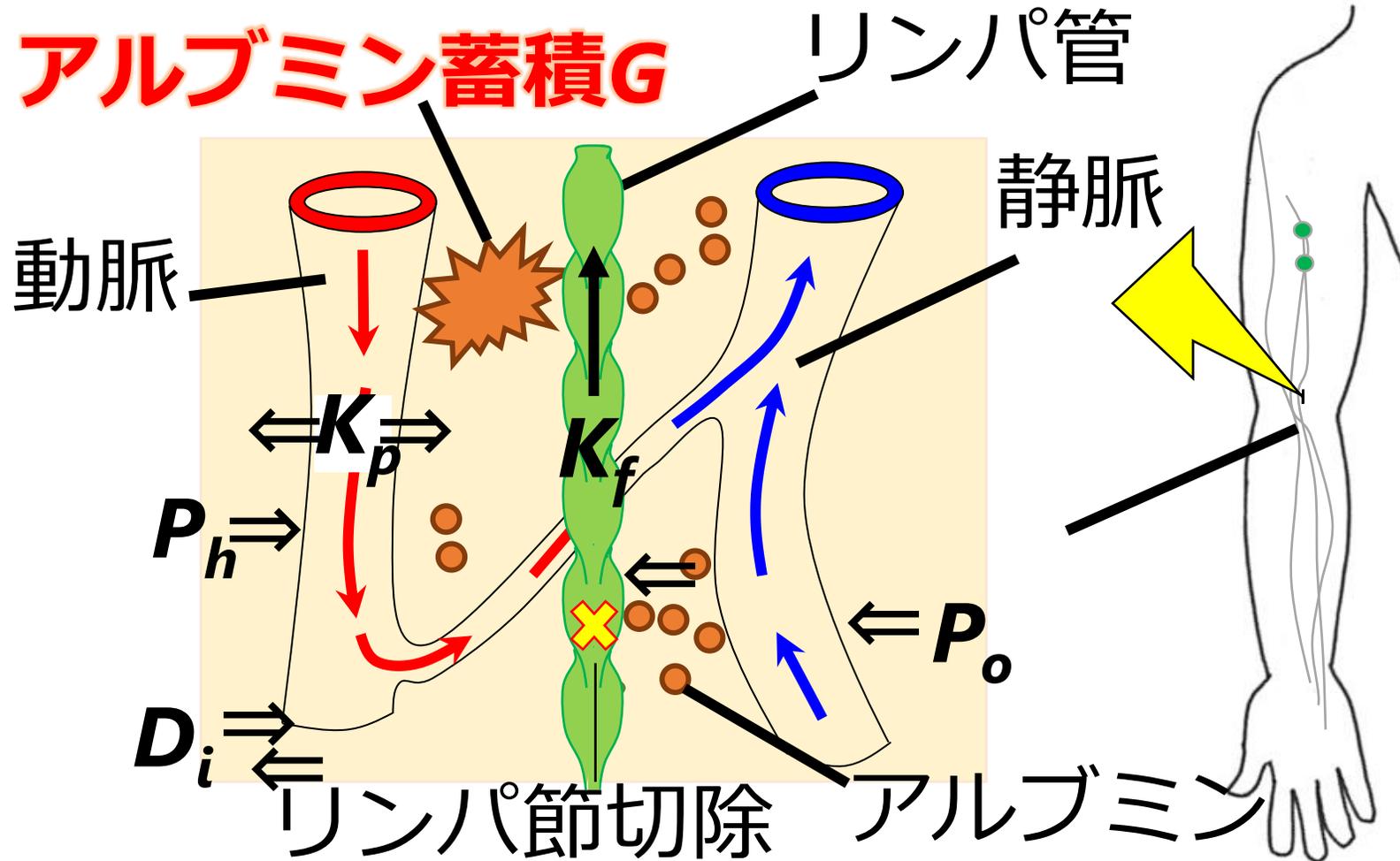
BIA法²⁾

1)造影剤を皮下注射しガンマカメラで撮影する方法

2)生体インピーダンス法

リンパ浮腫の原理

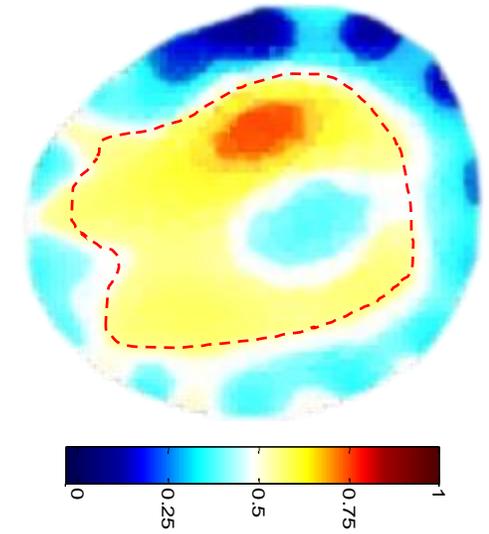
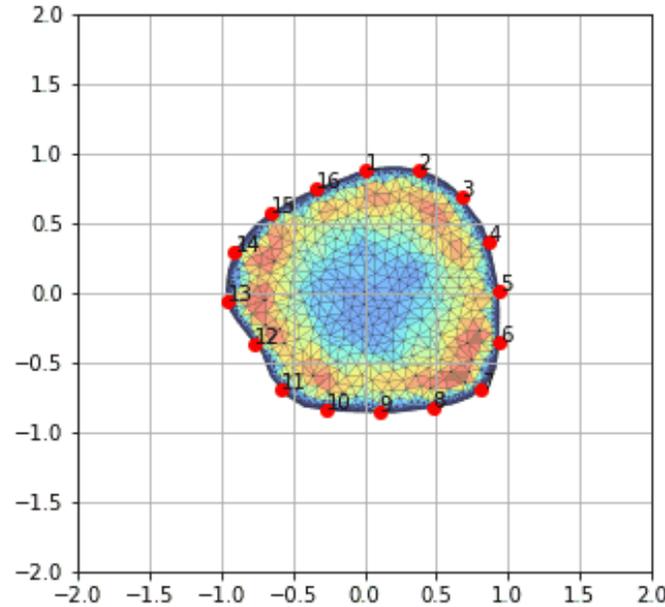
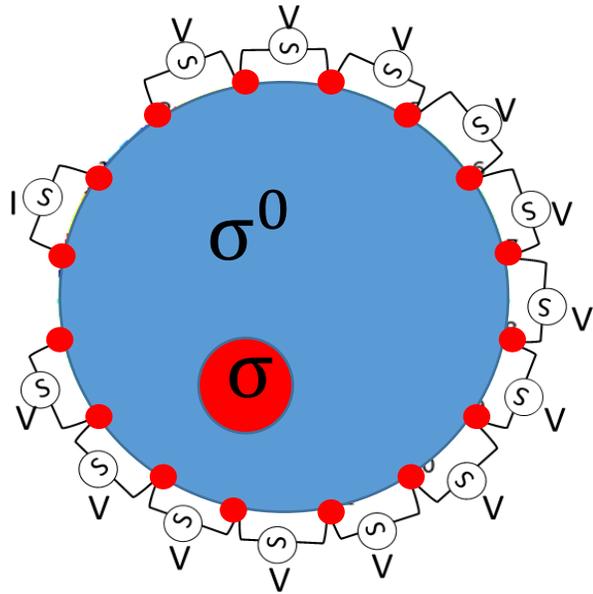
脂肪層の間質アルブミンの可視化計測が鍵！



- P_h : 静水圧
- P_o : 浸透圧
- K_p : 透過係数
(動脈→細胞間質)
- K_f : 透過係数
(細胞間質→リンパ管)
- D_i : アルブミン拡散係数

電気インピーダンストモグラフィ (EIT) 法

$V = J\sigma$ 電位 V から導電率 σ を推定



$\Delta\sigma$
正規化導電率

微弱電流を印加
⇒電位 V を境界で
多点計測

色々な体型の患者の
感度行列 J を予め計算

導電率分布 σ を画像化

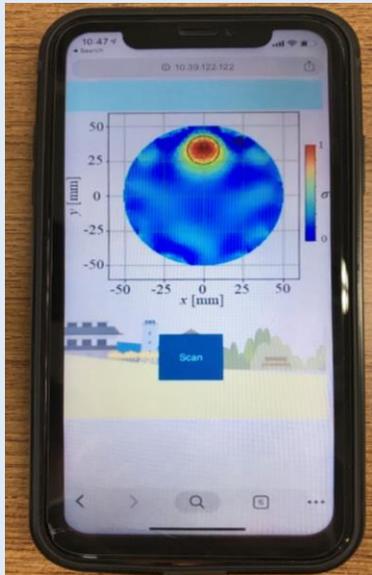


What's EIT?

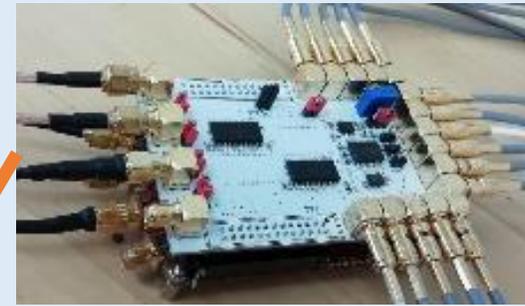
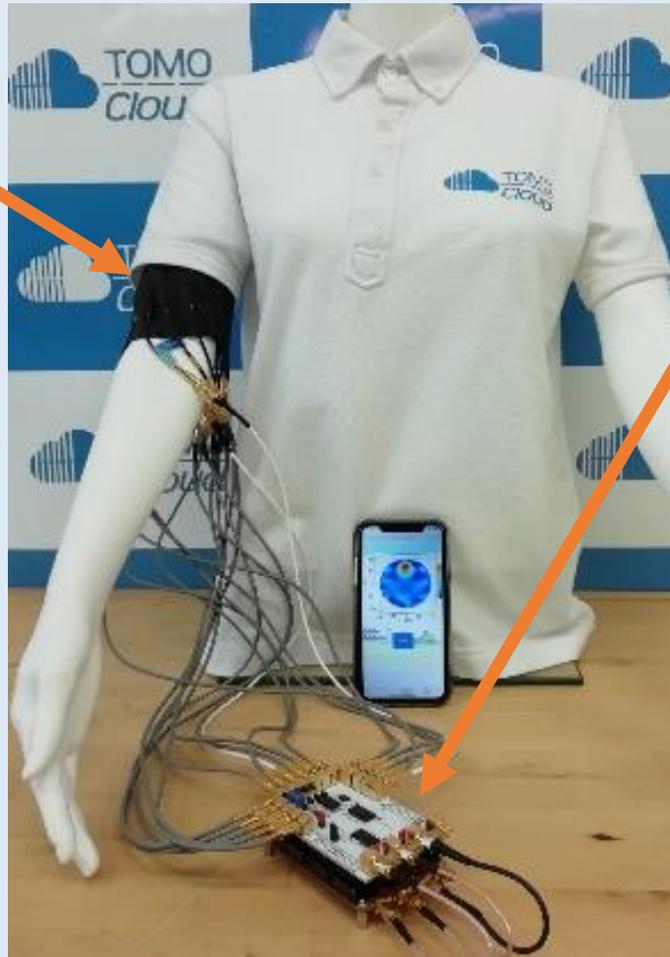
LTモニタ原理検証機

リンパ浮腫トモグラフィック・モニタ(LTモニタ)

ウェアラブル
センサー



スマホ表示



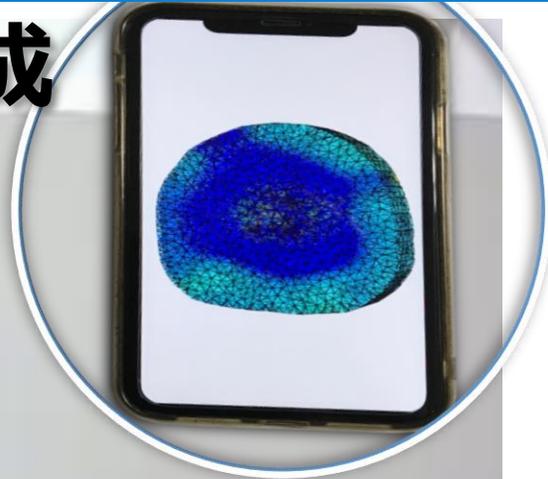
小型計測部



AIクラウド計算

ウェアラブルセンサー

4# 画像再構成

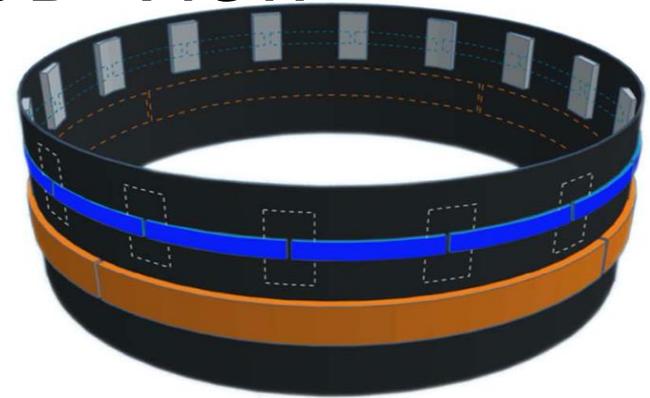


#2 境界検知

#3 感度行列計算

#1 センサー開発

3D View



センサ部品



stretch detector

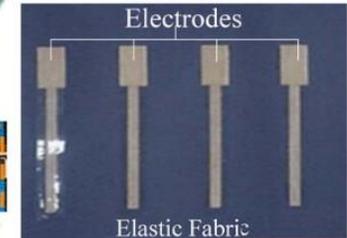


$L_x=15$ [mm]

angle detector

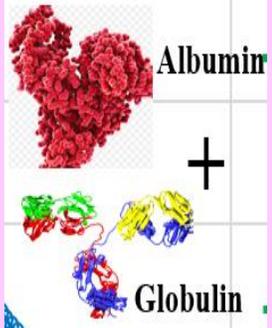


$L_x=60$ [mm]



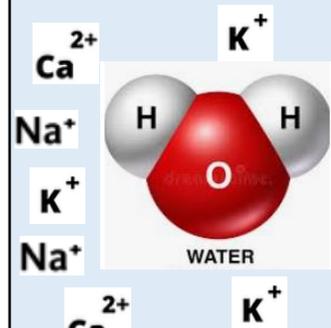
Elastic Fabric

リンパ浮腫

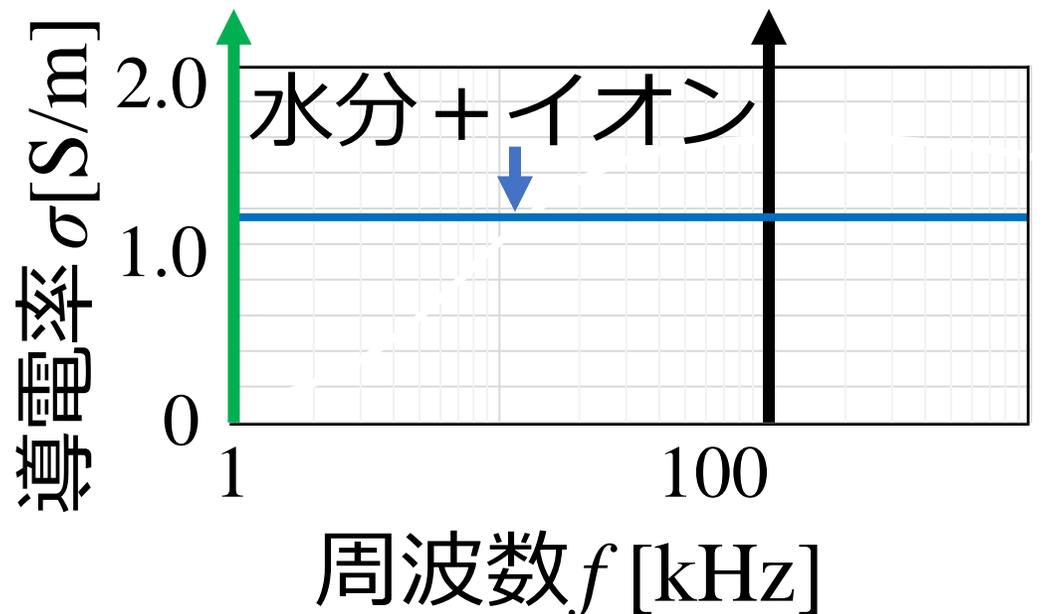
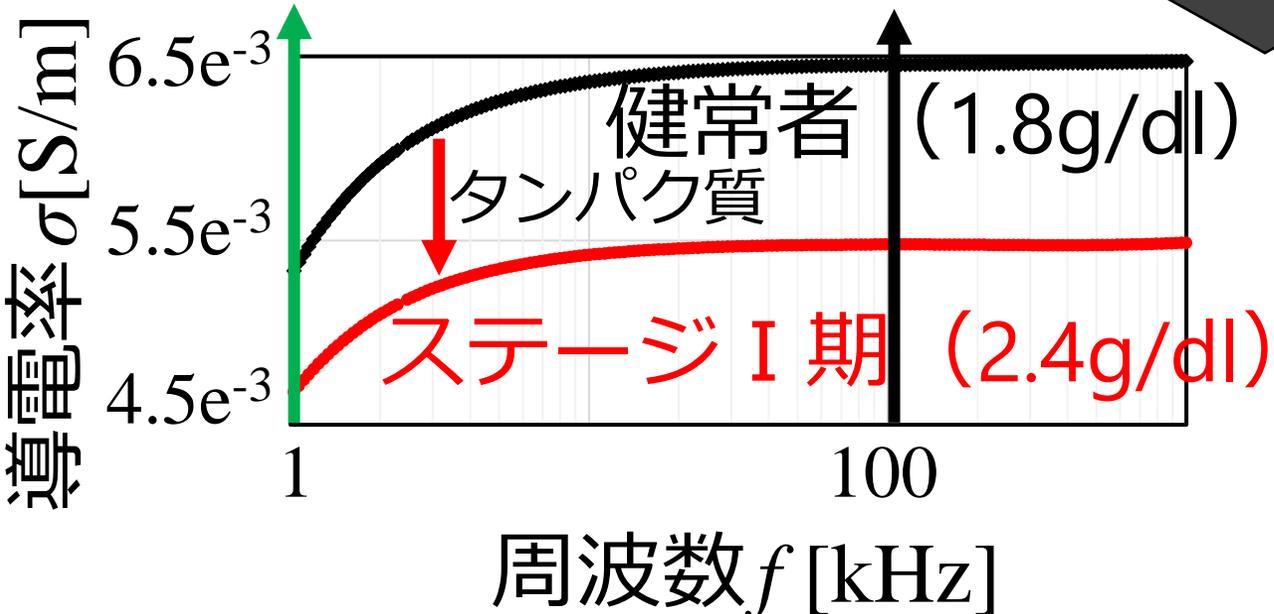


- ・アルブミン
 - ・グロブリン
- 片側性 ドレナージ

通常の浮腫

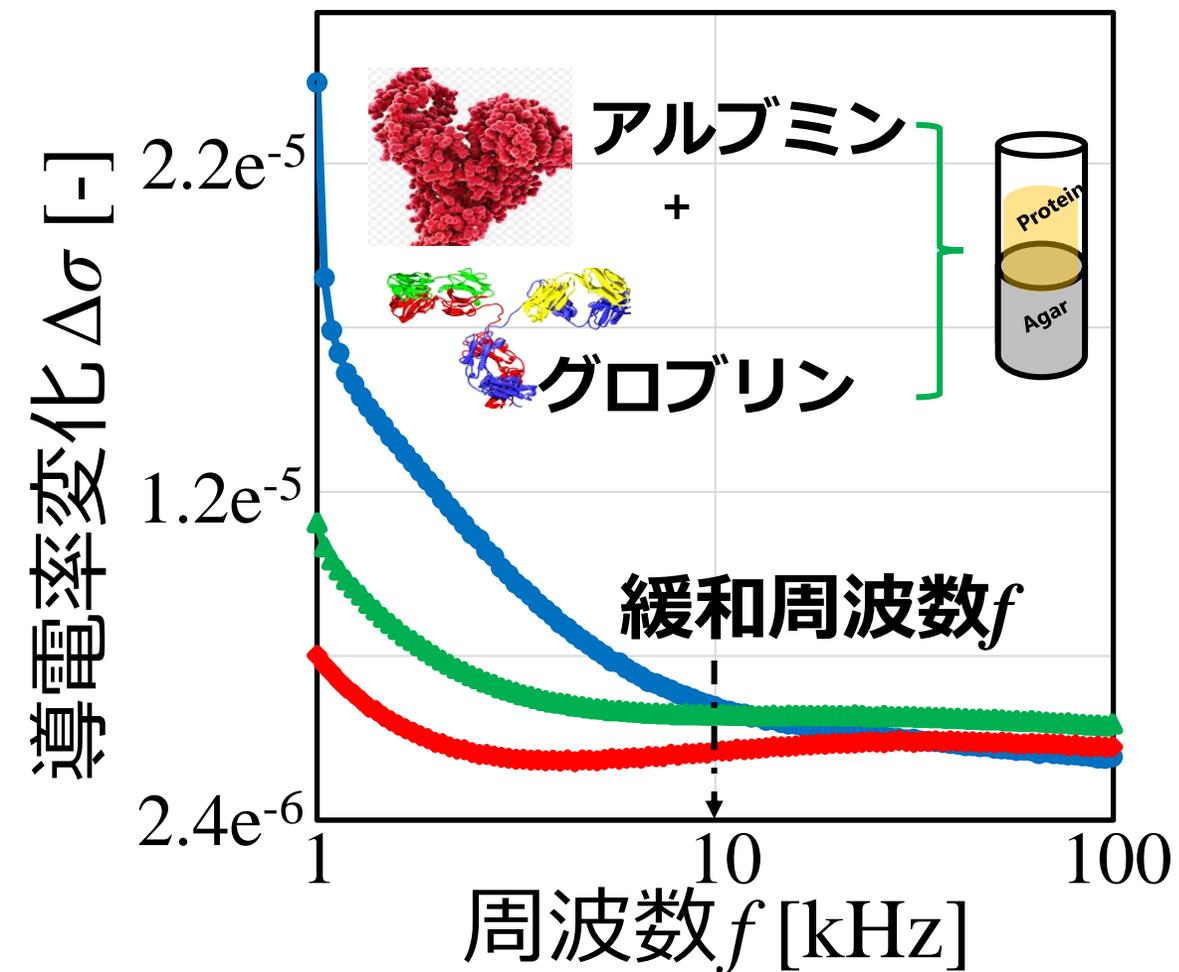


- ・水分
 - ・イオン
- 両側性 マッサージ



アルブミンの電気特性

M.Sifuna & M.Takei, *Measurement*, 2021

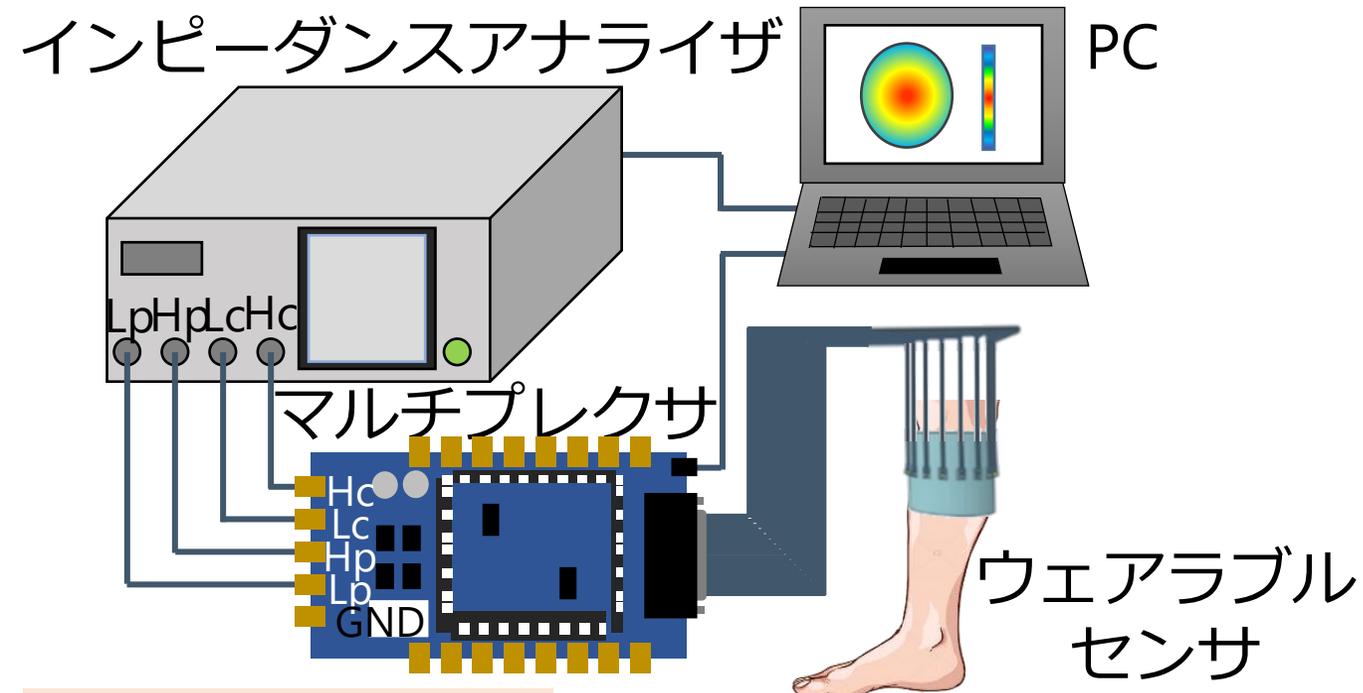


		f_{sen}	1 kHz	3 kHz	5 kHz	9 kHz
 Protein Albumin only (a)	$\Phi_{prot} = 0.42 \text{ g/dL}$					
	$\Phi_{prot} = 0.8 \text{ g/dL}$					
	$\Phi_{prot} = 1.2 \text{ g/dL}$					
 Albumin +  Globulin (b)	$\Phi_{prot} = 0.6 \text{ g/dL}$					
	$\Phi_{prot} = 1.1 \text{ g/dL}$					
	$\Phi_{prot} = 1.7 \text{ g/dL}$					

—●— $\Phi_{prot} = 1.85 \text{ g/dL}$
 —●— $\Phi_{prot} = 2.42 \text{ g/dL}$
 —●— $\Phi_{prot} = 2.90 \text{ g/dL}$
 ≡ 健常者 ≡ ステージ早 ≡ ステージ中

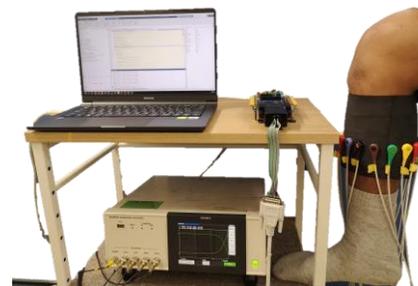
実験装置・条件・プロトコル

実験装置



実験条件

被験者 : 2 males, 5 females
age: 22.0 ± 1.4
BMI : $20.8 \pm 1.7 \text{ kg/m}^2$

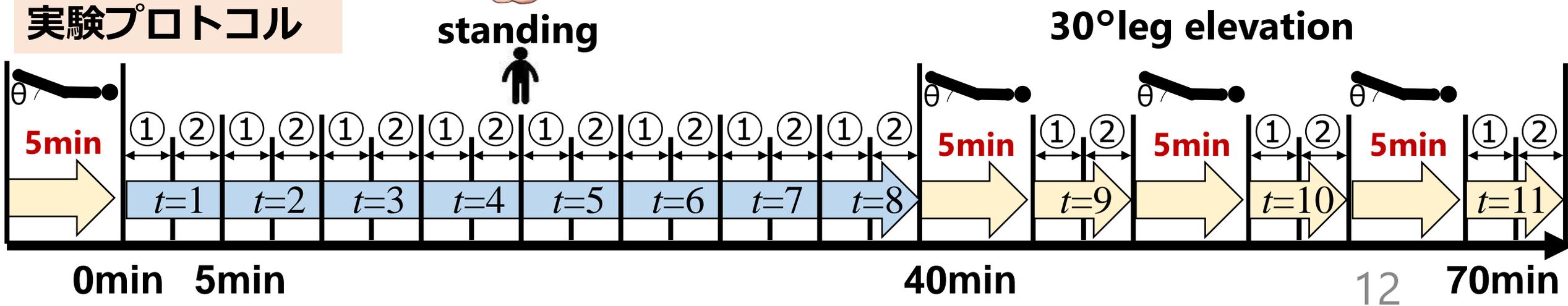


① EIT

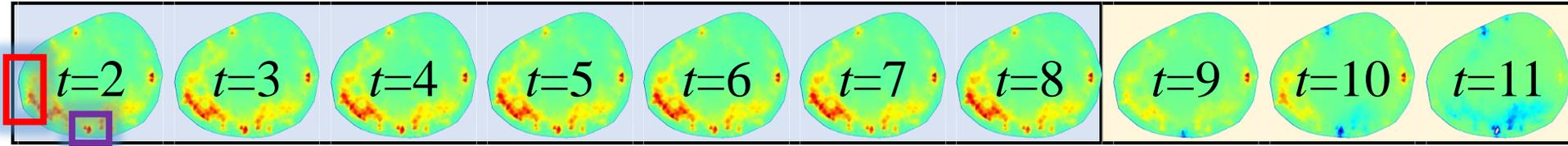


② 体成分分析装置

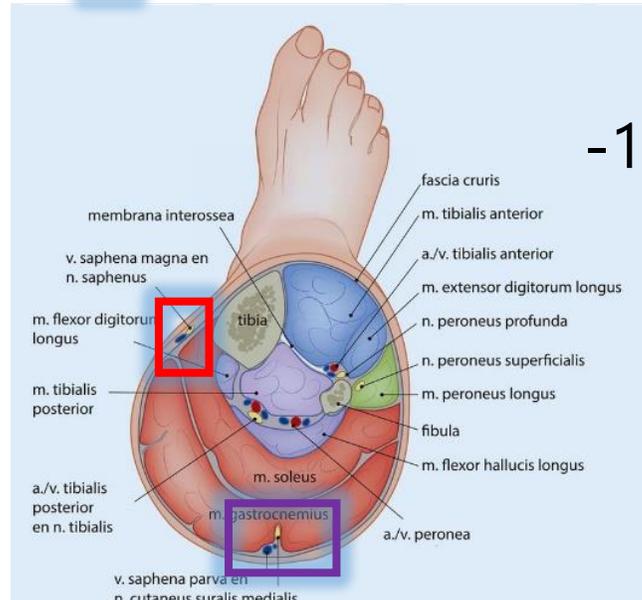
実験プロトコル



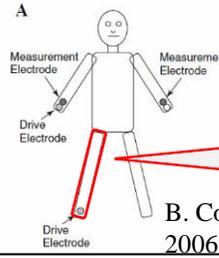
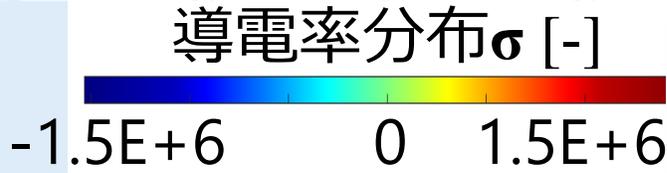
実験結果



- 被験者 1
- 周波数 $f=2.6\text{kHz}$

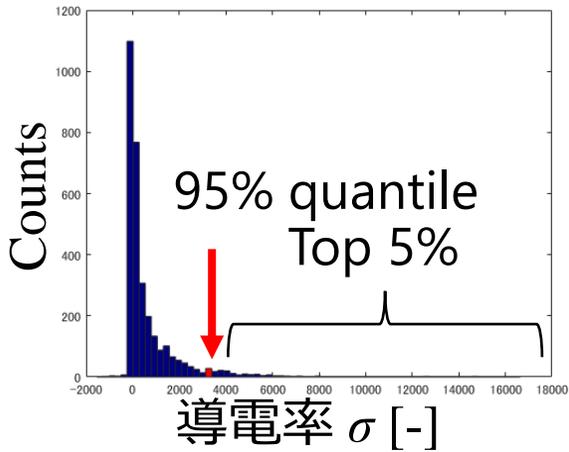


de Bruin I et al. Unfallchirurg, 2020



右足全体のコンダクタンス G
@1kHz (全被験者平均)

B. Cornish, *Lymphatic Research & Biology*, 2006

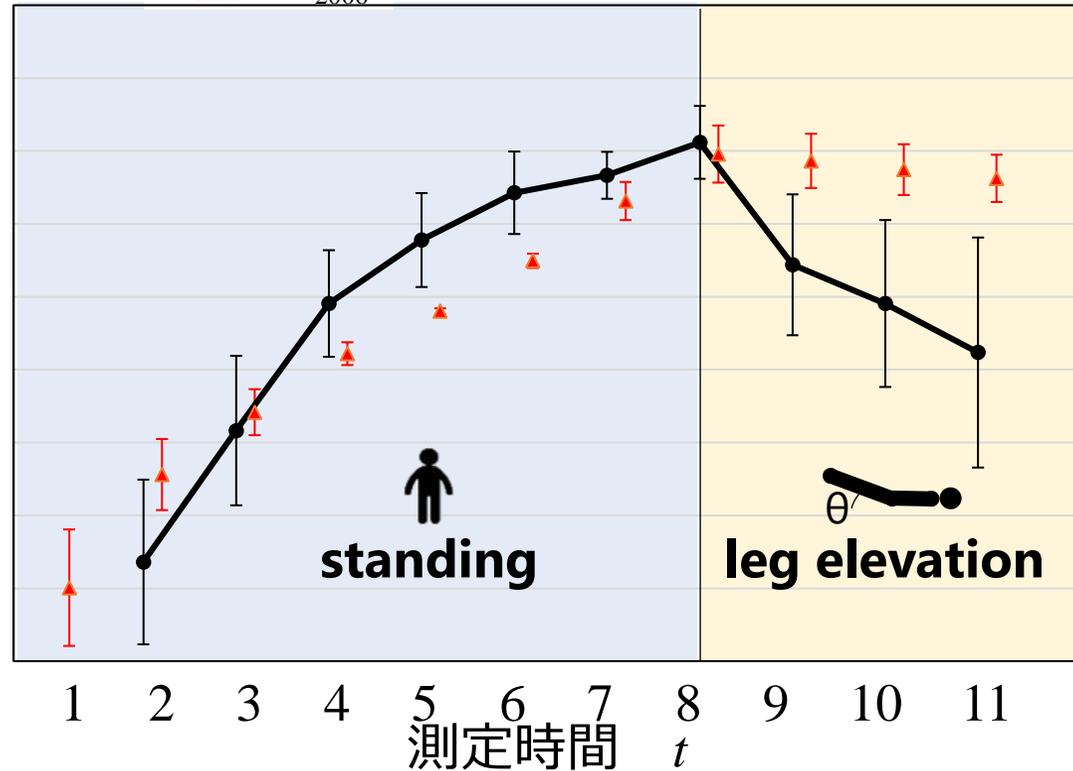


平均化
&
正規化

正規化導電率

$\langle \sigma^{95\%qa} \rangle$ [-]

2
1.5
1
0.5
0
-0.5
-1
-1.5
-2
-2.5



$\langle G \rangle$ [-]

正規化平均コンダクタンス

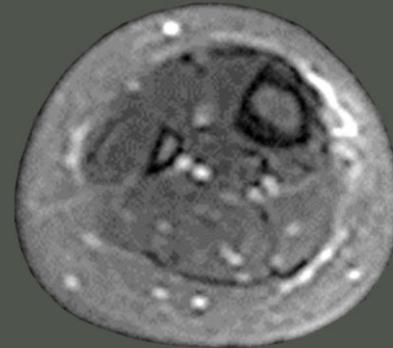
LTモニタのインパクト

従来は

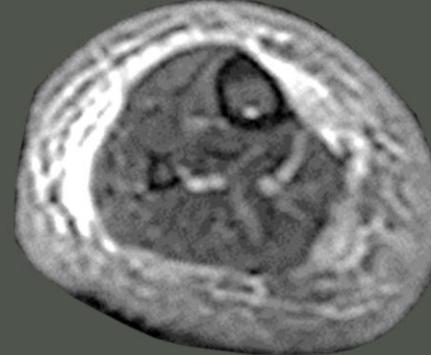


1億円のMRI
計測にも30分

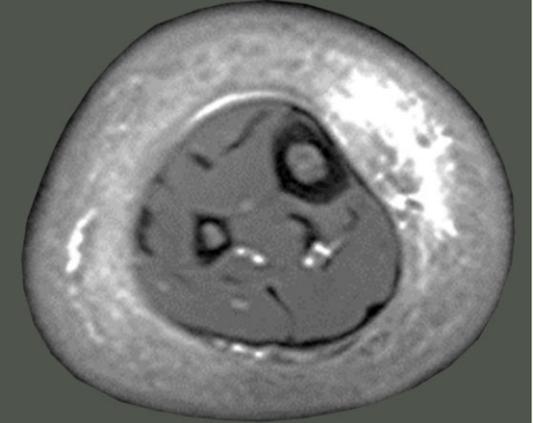
Stage 1



Stage 2



Stage 3

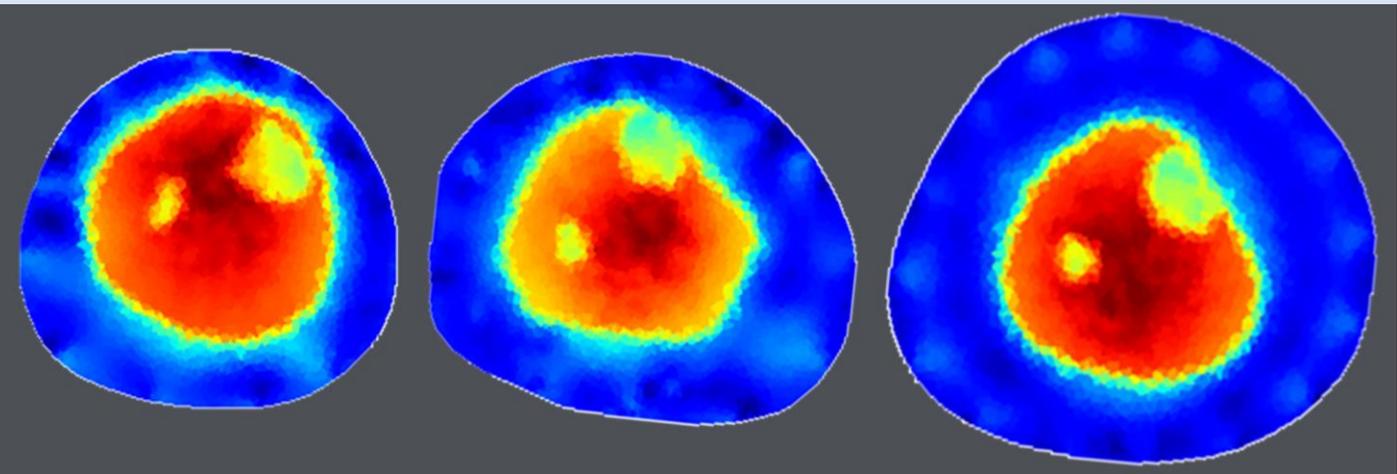


L. Wang, *Lymph. Res. Biol.*, 2018

これからは



超低価格のLTモニタ
0.5秒で計測



※シミュレーション画像