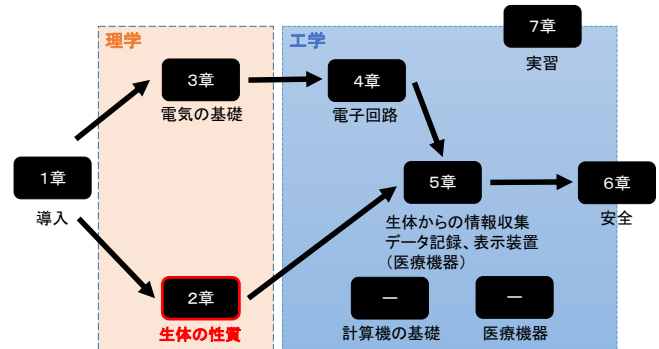


# 医用工学概論

## 第3回 生体の性質2

### 医用工学概論の章立て



### 前回の復習

#### 電気的エネルギーに関する生体物性

電気の流れやすさ を表す  $\sigma$  (シグマ)  
 分極のしやすさ を表す  $\epsilon$  (イプシロン)  
 磁化のしやすさ を表す  $\mu$  (ミュー)

#### 機械的エネルギーに関する生体物性

硬さの指標 (縦弾性率)  
 体積変化の指標  
 流れにくさの指標

電気の流れにくさ  
 $\rho = \sigma^{-1}$   
 (ロー)

### 前回の復習

#### 電気的エネルギーに関する生体物性

電気の流れやすさ を表す 導電率  $\sigma$  (シグマ)  
 分極のしやすさ を表す 誘電率  $\epsilon$  (イプシロン)  
 磁化のしやすさ を表す 透磁率  $\mu$  (ミュー)

#### 機械的エネルギーに関する生体物性

硬さの指標 ヤング率 (縦弾性率) 横弾性率  
 体積変化の指標 ポアソン比  
 流れにくさの指標 粘性率

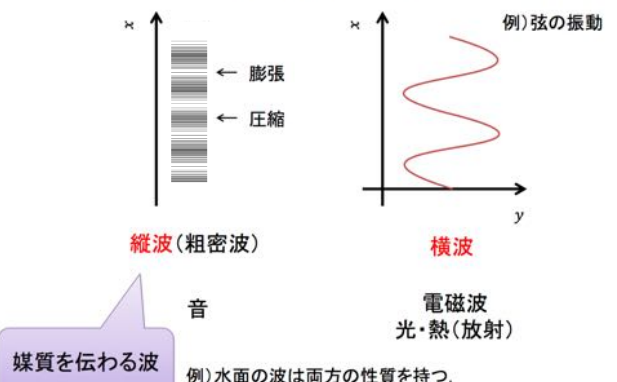
電気の流れにくさ  
 抵抗率  $\rho = \sigma^{-1}$   
 (ロー)

### 今回の流れ

#### 生体に作用するエネルギー

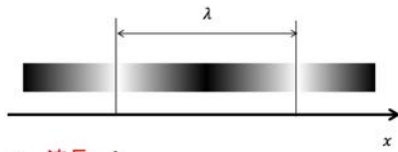
- ・電気
- ・機械的エネルギー
- ・音波
- ・熱
- ・光
- ・磁気、電磁波
- ・放射線

### 波のイメージ



## 音波の基本公式

音速



1周期分の道のり = 波長  $\lambda$

1周期分の時間 = 周期  $T$  → 逆数 → 周波数  $f$

速さ = 音速  $c = \lambda/T = \lambda \times f$

音は **ひずみ** の伝搬

$K$ : 断熱体積弾性率  
 $\rho$ : 媒質の密度

粘性のない理想的な流体では、音速は  $c = \sqrt{K/\rho}$  で表すことができる。

6

## 超音波の音響特性

減衰

生体内での減衰は、

**吸収** (熱に変換される)

**散乱** によるものが主。

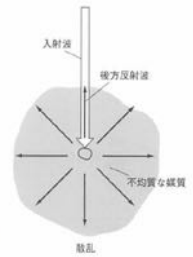
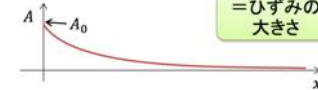
散乱

$$A = A_0 e^{-\alpha x} \Leftrightarrow \frac{dA}{dx} = -\alpha A$$

$A$ : 振幅 (音の強さ, 大きさ)

$\alpha$ : 減衰係数

= ひずみの大きさ



第5章 p.122 図5-6

7

## 減衰の式の導出

$$\frac{dA}{dx} = -\alpha A$$

両辺をAでわる

$$\frac{1}{A} \frac{dA}{dx} = -\alpha$$

両辺をxについて積分

変数分離法

$$\int \frac{1}{A} dA = \int -\alpha dx$$

$$\log_e A = -\alpha x + C \quad (C \text{ は積分定数})$$

$$A = e^{-\alpha x + C}$$

$$A = C_2 e^{-\alpha x} \quad (C_2 = e^C)$$

$$A(0) = A_0 \text{ より } C_2 = A_0$$

$$A = A_0 e^{-\alpha x}$$

## 指数関数、対数関数の重要な式

$$(1) x^a x^b = \boxed{?}$$

$$(2) \int \frac{1}{x} dx = \boxed{?}$$

$$(3) \frac{d}{dx} e^x = \boxed{?}$$

$$(4) \frac{d}{dx} e^{ax} = \boxed{?}$$

$$(5) \log_e x = a \quad x = \boxed{?}$$

## 解答

$$(1) x^a x^b = x^{a+b}$$

$$(2) \int \frac{1}{x} dx = \log_e x = \ln x$$

$$(3) \frac{d}{dx} e^x = e^x$$

$$(4) \frac{d}{dx} e^{ax} = a e^{ax}$$

$$(5) \log_e x = a \quad x = e^a$$

## 超音波の音響特性

散乱

媒質の固有音響インピーダンス  $\rho \times c$  が変化する部分で、**反射** が起こる。

筋、脂肪や腎臓、肝臓などの内部では、音響特性が分布的に変化する。

**後方散乱係数**

入射する音波の進行方向に対して、 $180^\circ$  の角度で散乱する音の割合を表す。

**反射波を利用 超音波診断装置**



第5章 p.122 図5-6

8

## 生体組織における音響特性

生体組織と関連物質	伝播速度 音速 (m/s)	吸収係数 $\alpha$ (1 MHz) (dB/cm)
空気	331	12
水	1,480	0.0022
血液	1,570	0.18
脂肪	1,450	0.63
脳	1,541	0.85
肝臓	1,549	0.94
腎臓	1,561	1.0
筋肉	1,585	1.3 (線維方向) 3.3 (線維と直角方向)
頭蓋骨	4,080	13

$331 + 0.6t$

温度依存性

周波数依存性

密度の大きな組織では減衰が **大きく**、水を多く含む組織では減衰が **小さい**。

第5章 p.121 表5-5 9

## 超音波の生体作用

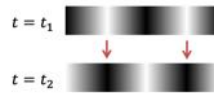
### 熱作用

反射、散乱、減衰の過程で吸収された熱エネルギーによる作用

安全限界 100mW/cm<sup>2</sup> 500秒の照射時間で50Ws/cm<sup>2</sup>  
10mW/cm<sup>2</sup> (胎児)

### キャビテーション

陰圧(膨張)により生じた **空洞** が陽圧(圧縮)時に消失する現象



発生した衝撃波によって、熱の発生、機械的作用、化学作用が生じる。

数MHzで数十W程度の超音波で起こる。

10

## 生体の熱に対する性質



### 体内での熱の産生

肝臓や骨格筋などの臓器での **代謝** の結果

### 体内での熱の移動

生体組織の **熱伝導** (局所)  
(生体組織の熱伝導率は水とほぼ等しい)

**血液循環** による熱の移動(80~90%)

### 体外への熱拡散

体表に近い部分は、外部の環境温によって変化

第5章 p.124 図5-7 11

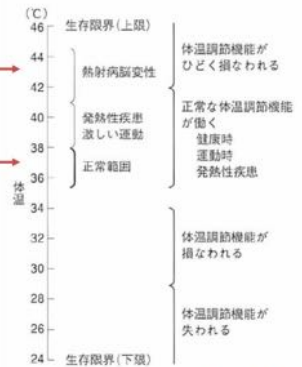
## 生体の熱に対する性質

### 蛋白質の変性

### 生体活動が

**最も効率よく安定**

体温を維持するための骨格筋の活動(ふるえ)が生ずる。



第5章 p.124 図5-7 12

## 生体の熱に対する性質

熱エネルギーによる温度上昇を利用

電気メス  
レーザーメス

組織の **破壊** と同時に、組織の **収縮** を利用して血管からの出血を抑える。

ハイパーサーミア

細胞の熱に対する耐性(癌細胞 < 正常細胞)の違いを利用

生体の熱放射を利用

サーモグラフィ

熱放射により放射される **電磁波** のエネルギーはボルツマンの法則に従う。

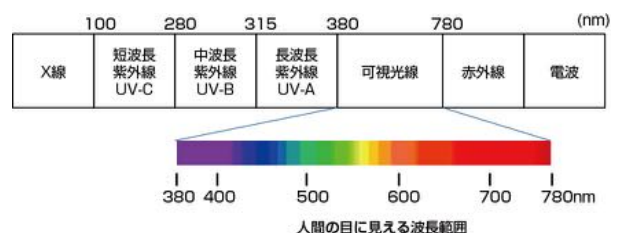
$$I \propto T^4$$

13

## 光

光は **電磁波** の一種で、横波

光速  $c = \lambda \times f \cong 30$  万[km/s]

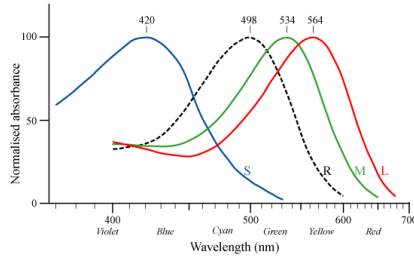


人間の目に見える波長範囲

## 網膜の光受容器(視細胞)

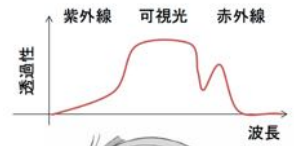
かんたい  
杆(桿)体  
明るさのみ感知

赤錐体  
緑錐体  
青錐体  
色を感知



## 眼球の光学的性質

眼球内での光の透過性は、  
水の **吸光特性** を反映している。

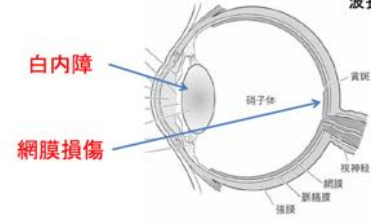


強い光の影響

紫外線  
波長の長い赤外線

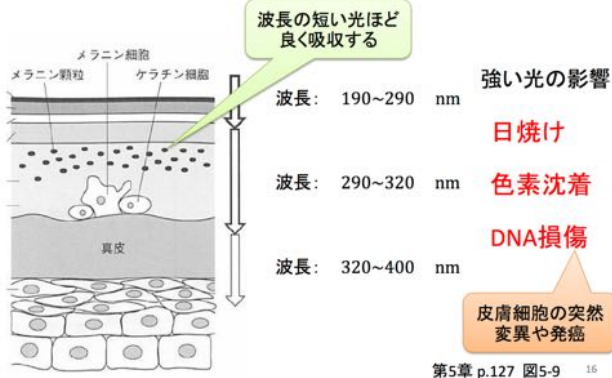
可視光  
近赤外線  
(特に平行光線)

例)レーザー光



第5章 p.126 図5-8 15

## 皮膚の光学特性



第5章 p.127 図5-9 16

## 血液の光学特性

主に、水と赤血球による **吸光特性** に依存する。  
その特性は、

**ヘマトクリット** (全血中に占める血球成分の割合)および

血液の性状や **配向** による影響を受ける。

異方性

**ヘモグロビン**

酸素と結合している状態と結合していない状態では、吸光特性が異なる。

**血行動態** の観測には、臓器表面の **反射光** が利用される。

脳活動計測 (NIRS)  
に用いられる。

17

## 生体の磁気、電磁波に対する性質

真空(生体)の **透磁率**  $B = \mu_0 H$  磁界の強さ  $H \rightarrow [A/m]$   
磁束密度  $B \rightarrow [T]$  (テスラ)

静的な磁界に対する性質

地磁気の約1万倍

強力な磁界(1~2T)の下においても、はっきりした生体反応は認められない。

医療機器: **MRI** (磁気共鳴画像装置)

低周波磁界に対する性質

数十kHz以下

熱作用, 興奮性膜の興奮, 心筋の期外収縮, 心室細動の誘発  
などの影響がある。

18

## 生体の磁気、電磁波に対する性質

高周波磁界に対する性質

100kHz以上

主に、**熱作用** による影響がある。医療機器: **ハイパーサーミア**

電磁波吸収の周波数依存性

周波数 (MHz)	波長 (μm)	吸収様式	特徴
~30	10~	誘起振	体表面で吸収。体内で減少/周波数の増加で吸収が増加
30~300	1~10	全身共振	身長の2倍の波長に相当した周波数で吸収が最大となる
300~400	0.75~1	部分共振	頭部などの部分的な共振部で吸収が最大となる
400~2,000	0.15~0.75	ホットスポット形成	生体内部で局所的に吸収が大きくなり、温度上昇する
2,000~	~0.15	表面吸収	皮膚の表面でほとんど吸収/体表面だけの温度上昇

第5章 p.130 表5-7 19

## 生体の磁気、電磁波に対する性質

### 生体から発生する磁界

体内で電流が流れると、  
電磁誘導によって磁界が発生

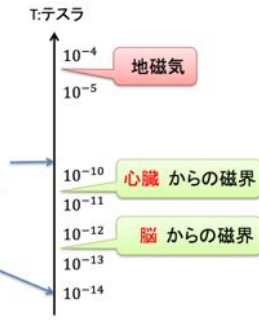
ホール素子の感度

フラックスゲート磁束計の感度

SQUIDの感度

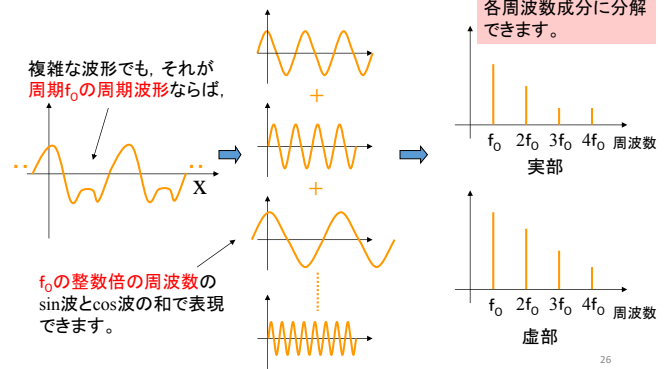
生体内に混入した磁性体

例) 肺内に蓄積した異物(磁性物質)

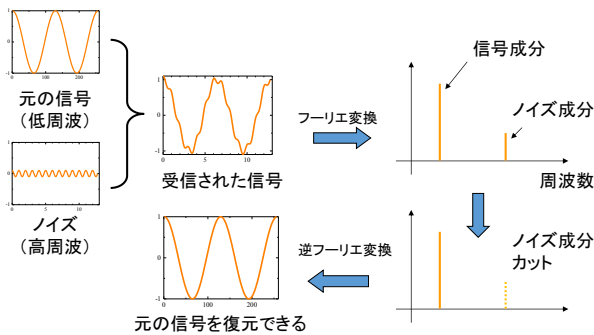


(参考) 第5章 p.131 図5-12 20

## 波形のフーリエ変換



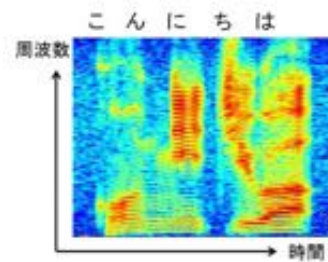
## フーリエ変換の具体例



27

## (スペクトログラム)

波形を一定間隔でフーリエ変換して  
周波数・時間・強度の3次元グラフにしたもの



## 復習問題1

下記の文章中のAからDに当てはまる言葉、数値を答えよ。

皮膚を介して感電した場合を A ショックと呼ぶ。A ショックでは B mA以上の電流が流れた場合、心室細動を引き起こす危険がある。

心臓に電流が集中する形で感電した場合を C ショックと呼ぶ。C ショックでは D mA以上の電流が流れた場合、心室細動を引き起こす危険がある。

A \_\_\_\_\_ B \_\_\_\_\_ C \_\_\_\_\_ D \_\_\_\_\_

## 復習問題1 解答

下記の文章中のAからDに当てはまる言葉、数値を答えよ。

皮膚を介して感電した場合を A ショックと呼ぶ。A ショックでは B mA以上の電流が流れた場合、心室細動を引き起こす危険がある。

心臓に電流が集中する形で感電した場合を C ショックと呼ぶ。C ショックでは D mA以上の電流が流れた場合、心室細動を引き起こす危険がある。

A マクロ B 100 C ミクロ D 0.1



## 復習問題2

生体組織が持つ特異性について、以下の問いに答えよ。

(1)異方性について説明せよ。

(2)経時変化について具体的な例を用いて説明せよ。

## 復習問題2 解答

生体組織が持つ特異性について、以下の問いに答えよ。

(1)異方性について説明せよ。

測定される方向により物性値が異なる。 など

(2)経時変化について具体的な例を用いて説明せよ。

検体などを採取したあとに時間の経過につれて物性値が変化する。  
夜に測った血圧の方が昼に測った血圧より低かった。 など

## 復習問題3

次の説明の中で、間違っているものを全て選べ。

- A. 興奮性細胞の電気的特性を考える際、受動特性だけでなく能動特性についても考える必要がある。
- B. 細胞の電気的な受動特性は、細胞の構造から電気回路でいうインダクタに置き換えて考えることができる。
- C. 細胞内外のイオン濃度が異なるため、細胞の内部は、静止状態で負の電荷を帯びた状態である。
- D. 細胞内液、外液は電解質を多く含んでいるため、脂質、たんぱく質等で構成される細胞膜と比べて電気を通しにくい。

## 復習問題3 解答

次の説明の中で、間違っているものを全て選べ。

正解 B, D

B 正しくはインダクタではなくキャパシタ(コンデンサ)である。

インダクタはコイルと呼ばれる電気回路の受動素子の一つで、磁界を発生させたり、磁界を受けて電流を発生させる働きを持つ。

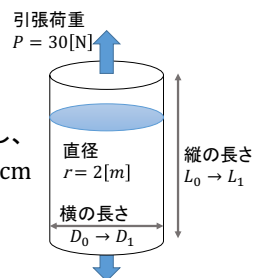
D 細胞内液、外液は電解質を多く含んでいるため、細胞膜より電気を通しやすい。

## 復習問題4

材料に引張荷重を加えると変形し、縦の長さ  $L_0 = 10\text{cm} \rightarrow L_1 = 12\text{cm}$  に変化した。

(1) 応力  $\sigma$  を求めよ。

(2) ポアソン比  $m = 0.5$  の時、横変形量  $\Delta D$  を求めよ。



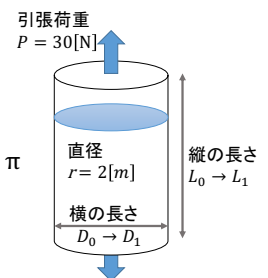
## 復習問題4 解答

(1) 応力

$$A = 1 \times 1 \times \pi = \pi$$
$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{30}{\pi}$$

(2) 横変形量

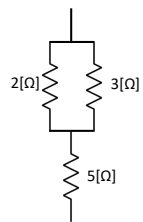
$$\varepsilon_L = \frac{2}{10} = 0.2$$
$$\varepsilon_D = m \times \varepsilon_L = 0.5 \times 0.2 = 0.1$$
$$\Delta D = D_0 \times \varepsilon_D = 2 \times 0.1 = 0.2 \text{ [m]}$$



## 練習問題

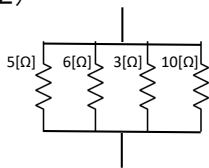
次の合成抵抗を求めよ。

(1)



(1) \_\_\_\_\_

(2)

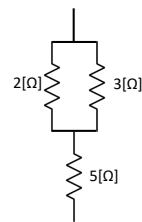


(2) \_\_\_\_\_

## 練習問題 解答

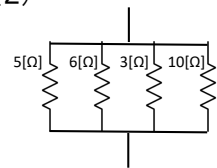
次の合成抵抗を求めよ。

(1)



(1)  $\frac{31}{5}$

(2)



(2)  $\frac{5}{4}$