

生体に作用するエネルギーと技術

- 電気(低周波電流)
 - 生体電気計測、インピーダンス計測、電気刺激、除細動装置
- 電磁界(高周波電流)
 - MRI、医用テレメトリー、電気メス、ハイパーサーミア
- 機械的エネルギー
 - 血圧測定、各種圧力測定、人口関節、矯正技法
- 音波・超音波
 - 超音波装置、オージメトリ、心音計
- 熱
 - サーモグラフィ、体温測定、ハイパーサーミア
- 光
 - 容積脈波形、パルスオキシメータ、眼科検査機器、光線療法
- 放射線
 - X線CT、ポジトロンCT、ガンマカメラ、放射線治療

生体組織の特異的な性質

生体の**物性値**は条件によって異なる性質を示す。以下は生体物性に認められる固有の特異性である。

- 異方性**
測定される により物性値が異なる
- 非線形性**
入出力が の関係では表現できない性質
- 周波数依存性**
 によって物性値が変化する性質
- 温度依存性**
 によって物性値が変化する性質
- 経時変化**
 によって物性値が変化する性質

電気的物性

レジスタンス(抵抗) 物体全体としての電流の流れにくさ
↓逆数

コンダクタンス 物体全体としての電流の流れやすさ
↓単位体積あたり

導電率 σ
(シグマ) $[S/cm]$ ジーメンス毎センチメートル

誘電率 ϵ
(イプシロン) 静電気の貯まりやすさ

透磁率 μ
(ミュー)

生体の受動的な電気物性

周波数依存性

周波数	100 Hz	10 kHz	10 MHz	
聴器・組織	導電率 σ (mS/cm)	比誘電率 ϵ	導電率 σ (mS/cm)	比誘電率 ϵ
骨格筋	1.1	10^6	1.3	6×10^4
脂肪	0.1	10^6	0.3	2×10^4
肝臓	1.2	10^6	1.5	6×10^4
血液	5	10^6	5	1×10^4

・比誘電率は真空の誘電率に対する比
 は電流を最もよく通す(電解質が多く含まれる)
 は電流を通しにくい
 高周波ほど電流をよく通す

P11 表2-3

細胞の受動的な電気的性質

細胞外液・内液には電解質が多く、電流を 。リン脂質の**細胞膜**は電気を 薄膜なので、コンデンサのように振る舞う。静止電位のとき細胞内は負の電位で、**分極**している状態。

細胞外液 $K^+ Na^+ Cl^-$ のように振る舞う

細胞膜

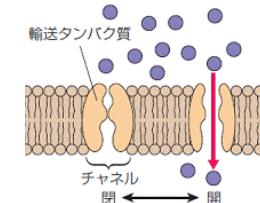
導体
絶縁体
導体

細胞内液 $K^+ Na^+ Cl^-$

興奮性細胞の能動的な電気的性質

- 細胞内は静止電位で分極している状態
- しきい値以上の電流が流れる
- Na^+ チャネルが開き、 Na^+ が細胞内へ流入
- 細胞内の電位が上昇(脱分極)し、活動電位になる
- 元の電位に戻る(再分極)

心電図などの生体電気信号は
この電位の変化を記録する



電撃と生体物性

電撃 体に流れた電流によって生体内の興奮性細胞が刺激を受けることで発生する。

電流が体表面から別の部分の体表に流れる

心室細動の閾値

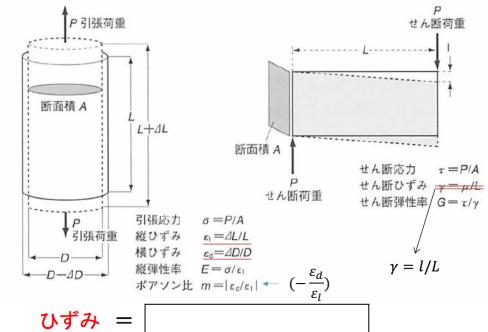
電流が心臓に集中的に流れる

心室細動の閾値

ミクロショックはマクロショックに比べ、1,000倍の危険性がある。

17

変形とひずみ



P14 図2-5

19

弾性率

縦弾性係数 (ヤング率) 引張り応力 σ と縦ひずみ ϵ_1 の比率

$$E = \sigma/\epsilon_1 [N/m^2]$$

の指標

横弾性率 (せん断弾性率) せん断応力 τ とせん断ひずみ γ の比率

$$G = \tau/\gamma [N/m^2]$$

ポアソン比 ϵ_0 と ϵ_1 の比率

$$m = \epsilon_0/\epsilon_1$$

生体物質の力学的物性

異方性

組織	荷重の様式	最大荷重(N/m ²)	最大変形(%)	ヤング率(N/m ²)
骨	圧縮荷重	1.5×10^6	2	0.8×10^{10}
腱	引張荷重	0.8×10^6	8	1×10^9
動脈	横方向引張荷重	2×10^6	100	2×10^6
筋	引張荷重	2×10^6	60	3×10^5
木材	圧縮荷重	1×10^6	2	1×10^{10}

が大きく、同じ個体の同種の組織に対しても部位による差がある。

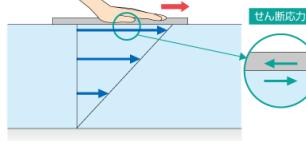
骨は、木材と同じくらいのヤング率(硬さ)を持つ。

P15 表2-4

22

粘性

流体中の摩擦により
流れに抵抗する性質



$$\gamma = \frac{\tau}{\mu}$$

γ せん断ひずみ速度 [s⁻¹]
 τ せん断応力 [Pa]
 μ 粘性率 [Pa · s]

ニュートン流体

μ が一定(線形)

水、はちみつ

非ニュートン流体

μ が応力 τ によって変化(非線形)

血液、ペンキ

粘弹性体

粘性と弾性があり変形に時間がかかる

問題1

生体組織に100Hzの電流が流れた時に、導電率(mS/cm)が最も大きいのはどれか

- 肝臓
- 血液
- 骨格筋
- 脂肪
- 頭蓋骨

問題2

生体組織を扱う上で問題となりにくい性質を2つ選べ

- 線形性
- 温度依存性
- 周波数依存性
- 等方性
- 経時変化

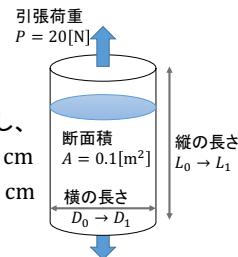
問題3

ミクロショックにおける心室細動の閾値はいくつか

- 0.1 [mA]
- 0.01 [mA]
- 1 [mA]
- 10 [mA]
- 100 [mA]

問題4

材料に引張荷重を加えると変形し、縦の長さ $L_0 = 10\text{cm} \rightarrow L_1 = 12\text{cm}$ 横の長さ $D_0 = 5\text{cm} \rightarrow D_1 = 4.5\text{cm}$ に変化した。



- 応力 σ を求めよ
- 縦変形量 ΔL 横変形量 ΔD を求めよ
- 縦ひずみ ε_l 横ひずみ ε_d を求めよ
- ポアソン比 m を求めよ

SI接頭辞

	1000^4	10^{12}	1 000 000 000 000
	1000^3	10^9	1 000 000 000
	1000^2	10^6	1 000 000
	1000^1	10^3	1 000
ヘクト (hecto)	h	10^2	100
デカ (deca)	da	10^1	10
		1000^0	1
デシ (decil)	d	10^{-1}	0.1
センチ (centi)	c	10^{-2}	0.01
		1000^{-1}	10^{-3} 0.001
		1000^{-2}	10^{-6} 0.000 001
		1000^{-3}	10^{-9} 0.000 000 001
		1000^{-4}	10^{-12} 0.000 000 000 001

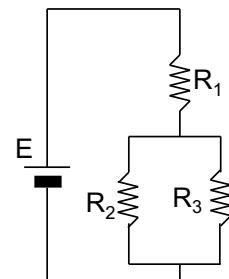
復習問題1

全体の合成抵抗Rを求めよ。

全体の電力Pを求めよ。

$$R_1 = 20, R_2 = 10, R_3 = 10 [\Omega]$$

$$E = 100 [\text{V}]$$



復習問題2

右図に示す回路において矢印のような電流が流れているとき抵抗 R_ℓ を流れる電流 I_ℓ は何(A)か?
 ただし、内部抵抗は無視するものとする。

