

【問題 1】 振動数 880 Hz の音叉 A と振動数が不明の音叉 B を同時に鳴らしたら、1 秒間に 6 回の割合でうなりが聞こえた。次に、音叉 B の先端に針金を少し巻きつけたところ、うなりの回数は 1 秒間に 4 回の割合となった。

音叉 B ののはじめの振動数を求める次の文章の空欄について、解答欄 ，
 には当てはまる語句を解答群から選び、番号をマークし、解答欄 ～
 には数値を記入せよ。[$1 \times 2 = 2$ $2 \times 3 = 6$]

振動数が少し異なる 2 つの音源に基づく によりうなりが生じるが、この音叉 A と B によるうなりの回数は 1 秒間に 6 回であるので、音叉 B ののはじめの振動数 f は Hz または Hz である。音叉 B に針金を巻きつけると、質量の変化により音叉 B の振動数は ため、もし、 $f =$ Hz とすると、あとのうなりの回数は 1 秒間に 6 回よりも多くなるはずである。したがって、音叉 B の振動数 f は Hz である。

- 1) 反射 2) 干渉 3) 共鳴 4) 小さくなる 5) 大きくなる

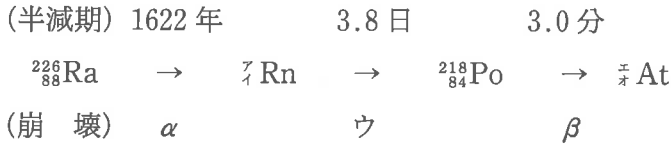
【正解】 ① = 2) ② = 4) A = 886 B = 874 C = 886

【解説】 音のうなりに関する問題である。うなりは、振動数が少し異なる 2 つの音の干渉により生じるものであり、場所によらず、強く聞こえたり、弱く聞こえたりする。

いま 2 音の振動数を f_1 , f_2 とし、ある瞬間に強め合ってから次に強め合うまでの時間を T とすると、毎秒のうなりの回数は、 $1/T = |f_1 - f_2|$ となる。本問題では、音叉 A の振動数が 880 Hz であるから、この式より、音叉 B の初めの振動数は、886 Hz または 874 Hz である。

次に、音叉に針金を巻きつけると質量が増すため、振動数は小さくなる。このため、もし $f = 874$ Hz とすると、後のうなりの回数は 1 秒間に 6 回よりも多くなるはずである。したがって、音叉 B の振動数は $f = 886$ Hz である。

【問題2】 ウラン系列に属する自然放射性元素の崩壊過程の一部は次のとおりである。



次のうち、誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[4]

- 1) Ra \rightarrow Rn は α 崩壊であるから、ア=222、イ=86 である。
- 2) ウの崩壊は α 崩壊である。
- 3) エ=218、オ=85 である。
- 4) この系列は最後に ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ になって安定するまでの間、 ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ から β 崩壊を4回繰り返す。
- 5) 4.0 mg の上記の Po が 1.0 mg になるには、半減期が 3.0 分であるから 12 分経過する。

【正解】③ = 5)

【解説】自然放射性元素の崩壊過程における α 崩壊、 β 崩壊と、崩壊の法則における半減期に関する問題である。本文におけるそれぞれの事項について、正しいかどうかを見てみる。

- 1) α 崩壊では α 線が出るが、 α 粒子はヘリウムの原子核であるから、原子番号が 2 減少し、質量数が 4 減少することになる。Ra \rightarrow Rn は α 崩壊であるから、Ra の原子番号 88、質量数 226 から、それぞれ 2、4 減少するので、Rn の原子番号は 86、質量数は 222 となる。
- 2) ウの崩壊では、原子番号 222、質量数 86 の Rn から、原子番号 84、質量数 218 の Po に変化しており、原子番号が 2、質量数が 4 減少しているから、これは α 崩壊である。
- 3) β 崩壊では β 線が出るが、 β 線は高速の電子の流れであるため、原子番号が 1 増加し、質量数は変化しない。原子番号 84、質量数 218 の Po が β 崩壊すると、原子番号は 85、質量数は変化しないから、At の質量数 E は 218、原子番号 F は 85 である。
- 4) この崩壊過程において、 α 崩壊を m 回、 β 崩壊を n 回繰り返すものとするとき、質量数の変化については α 崩壊のみが関与するから、 $226 - 4m = 206$ 、また原子番号については、 $88 - 2m + n = 82$ となる。この連立方程式を解くことにより、 $n = 4$ 、すなわち β 崩壊を 4 回繰り返すことがわかる。
- × 5) ある核種の初めの原子核数を N_0 、時間 t の後のその原子核数を N とし、この原子核の半減期を T とするとき、 $N/N_0 = (1/2)^{t/T}$ が成り立つ。Po の質量は原子核数に比例するから、この式に $N_0 = 4.0$ 、 $N = 1.0$ 、 $T = 3.0$ を代入すると、 $1/4 = (1/2)^{t/3}$ 、これを解けば、 $t = 6.0$ (分) となる。

【問題3】 カルシウム Ca^{2+} 濃度 $2.5 \text{ mEq}/\ell$ を含む透析液 150ℓ がある。これに塩化カルシウムの結晶を加えて Ca^{2+} 濃度 $4.5 \text{ mEq}/\ell$ の透析液にしたい。以下の設問に答えよ。ただし、塩化カルシウムの Ca^{2+} への電離度は 100% 、Ca と Cl の原子量はそれぞれ 40 と 35.5 とする。

3-1 添加する塩化カルシウムのモル数はおよそ何 mol か。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 0.15 2) 0.30 3) 0.68 4) 30 5) 150

3-2 添加する塩化カルシウムの量はおよそ何 g か。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、結晶の水和部分は無視する。[2]

- 1) 6.0 2) 11.3 3) 16.6 4) 33.3 5) 111

3-3 このとき、透析液の浸透圧濃度はおよそ何 mOsm/ℓ 上がるか。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 1.0 2) 2.0 3) 2.5 4) 3.0 5) 4.5

[正解] ④ = 1), ⑤ = 3), ⑥ = 4)

[解説]

3-1

カルシウムのように2価の電解質の当量濃度とモル濃度の関係は以下となる。

$$2 \text{ mEq}/\ell = 1 \text{ mmol}/\ell$$

従って、添加する塩化カルシウムのモル数は $\frac{4.5-2.5}{2} \times 150 \times \frac{1}{1000} = 0.15$

となる。

3-2

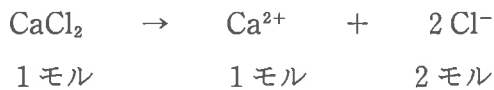
添加する塩化カルシウムの結晶の量はモル数に分子量 ($40 + 35.5 \times 2 = 111$) をかけて、

$$0.15 \times 111 = 16.6 \text{ g}$$

となる。

3-3

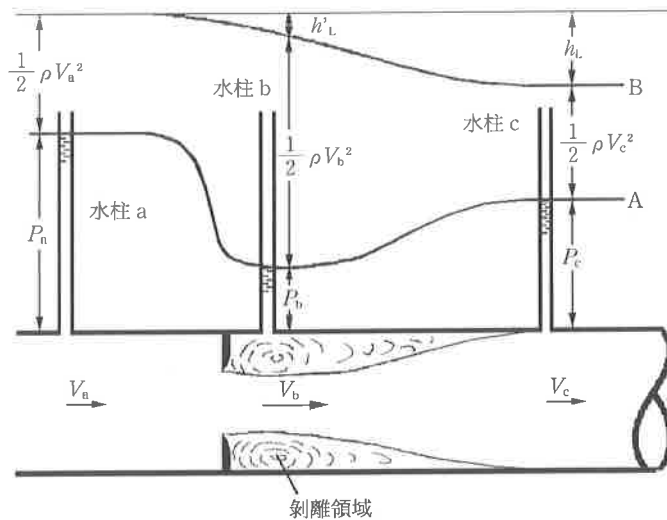
塩化カルシウム CaCl_2 が完全電離すると以下の反応となる。



すなわち、塩化カルシウム1モルの結晶を透析液に溶解すると3モルのイオンが生じることになり、従って、添加する塩化カルシウム1mmol/ℓによって3mOsm/ℓ分の浸透圧が上昇することになる。

【問題4】 図は血管狭窄をモデル化した水平なオリフィス流路である。次の文章の空欄に当てはまる語句の組み合わせで正しいのはどれか。番号を解答欄 ⑦ にマークせよ。ただし、 ρ は流体の密度、 V は速度を表し、粘性は無視する。[6]

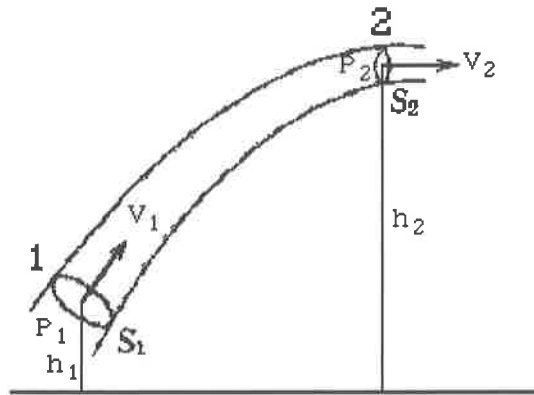
図において、 h_L は圧力損失を、 A は静圧の変化を、 B は a の変化を表している。このとき、狭窄の圧力損失係数 λ は b で表されるが、この係数は心臓弁狭窄などの血流速度の増加に対して c の関係がある。



	a	b	c
1)	動圧	$\frac{h_L}{\frac{1}{2} \rho V_c^2}$	比例
2)	総圧	$\frac{h_L}{\frac{1}{2} \rho V_c^2}$	一定
3)	動圧	$\frac{P_b}{\frac{1}{2} \rho V_b^2}$	一定
4)	総圧	$\frac{P_b}{\frac{1}{2} \rho V_b^2}$	比例
5)	動圧	$\frac{P_a - P_c}{\frac{1}{2} \rho V_c^2}$	一定

【正解】①= 2)

【解説】血管狭窄の程度を評価する圧力損失係数 λ に関する問題であり、ベルヌーイの定理を理解しておく必要がある。



ベルヌーイの定理は上図のような流管に任意の2点（1，2）がある場合，定常流でエネルギーの損失がないときは，単位体積の流体によって運ばれるエネルギーは一定に保たれ，

$$P_1 + (1/2)\rho V_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + (1/2)\rho V_2^2 + \rho gh_2 = \text{一定}， \text{の関係がある。}$$

また，連続の式から，それぞれの流路断面積を S_1, S_2 とすると，
 $S_1 \times V_1 = S_2 \times V_2$ の関係がある。

P は静圧で， $(1/2)\rho V^2$ は流体の速度 V によって生じる動圧で， ρgh は任意の点の位置（高さ） h による圧である。もしも，流管が水平であれば $\rho gh_1 = \rho gh_2$ であるから，

$$P_1 + (1/2)\rho V_1^2 = P_2 + (1/2)\rho V_2^2 = \text{一定となる。}$$

この静圧と動圧の和が総圧であり，エネルギーの損失が無い場合はこれが一定に保たれることを意味している。

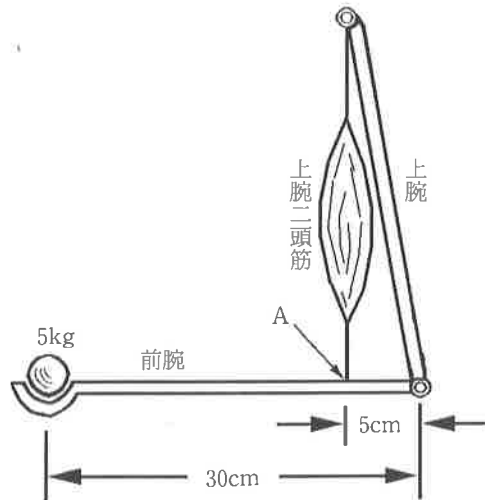
しかし，問題の図のように流管内にオリフィス状の狭窄が存在すると，流体はオリフィス前後の管壁に添って流ることができずに剝離してジェットを形成する。このジェットの境界と管壁にはさまれた剝離領域には渦ができるために，エネルギーが失われて圧力損失 h_L を生じる。このために，総圧は設問の図の B で

表した線のように変化することになる。

この圧力損失 h_L を流路の狭窄に影響されない代表的な部分における動圧で割ったものが圧力損失係数 λ として定義されている。この場合は連続の式から $V_a = V_c$ であるから V_a または V_c が代表的な流速となる。したがって、該当する係数 λ は表の選択肢 $h_L / (1/2)\rho V_c^2$ である。

また、係数 λ は流速がある程度大きい場合には、流速の増加に影響されず狭窄の形態のみで定まる一定の値をとる。

【問題5】 図は前腕と上腕そして上腕二頭筋をモデル化したものである。いま、5 kg の重りを持ち上げて、肘を少し引いたところ、前腕は水平になり二頭筋は垂直になったとする。以下の設問に答えよ。ただし、棒や二頭筋の自重は無視するものとする。



5-1 上腕二頭筋が受ける力は何 N か。解答欄 に記入せよ。[4]

5-2 前腕の A 点の曲げモーメントは何 Nm か。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 1.25 2) 1.50 3) 12.3 4) 14.7 5) 29.4

【正解】 ㉔ = 294 N ㉕ = 3)

【解説】

5-1

この図において、重りは肘にあたる支点を中心にして前腕を左回り（反時計方向）に回転させようと働き、逆に上腕二頭筋の力は同じく支点 A を中心にして右回り（時計方向）に回転させようとする。この回転させようとするモーメントは（力）×（支点から力が加わっている部分までの長さ）である。

また、力は（質量）×（重力加速度）であるから、モーメントは（質量）×（重力加速度）×（支点から力が加わっている部分までの長さ）で表される。

問題は、前腕が水平になり二頭筋が垂直の状態ですべて静止している場合の二頭筋の力を求めるものである。したがって前腕を左回りに回転させようとするモーメントと、右回りに回転させようとするモーメントが釣り合っているとして解を求めればよい。

支点からの長さが 30 cm (0.3 m) の部分に、5 kg の重りがあるから、左回りのモーメントは $5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.3 \text{ m}$ である。一方、右回りのモーメントは上腕二頭筋の力を X とすれば、同様に $X \times 0.05 \text{ m}$ である。この両者のモーメントが等しいときに前腕は回転することなく、水平の位置を保って重りを支え続ける。したがって、 $5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.3 \text{ m} = X \times 0.05 \text{ m}$ の式が成り立ち、この式から $X = 294 \text{ N}$ となる。

5-2

前腕の A 点の曲げモーメントは A 点に発生するものであり、それは重りによる力と重りから A 点までの長さによるモーメントによって発生するものである。したがって、重りによる力は $5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2$ で、重りから A 点までの長さは 0.25 m であるから、曲げモーメントは $5 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.25 \text{ m}$ であり、これを計算すれば $12.25 \text{ Nm} \approx 12.3 \text{ Nm}$ となる。

この曲げモーメントは重りの部分ではゼロであり、A 点に近づくにしたがって増加し A 点で最大となる。

【問題6】 材料が外力を受けたときに示す挙動について正しいのはどれか。番号を解答欄⑨にマークせよ。[6]

- a. 外力を取り除いても、元の状態に復元しない性質を塑性と呼ぶ。
- b. 外力を取り除くと完全に元の状態に復元する性質を靱性と呼ぶ。
- c. 一定の外力を加えたままの状態、無限に変形を続ける性質をクリープと呼ぶ。
- d. 外力に対して粘り強く、衝撃によく耐える性質を脆性と呼ぶ。
- e. 流動体が外力に抵抗する性質を延性と呼ぶ。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

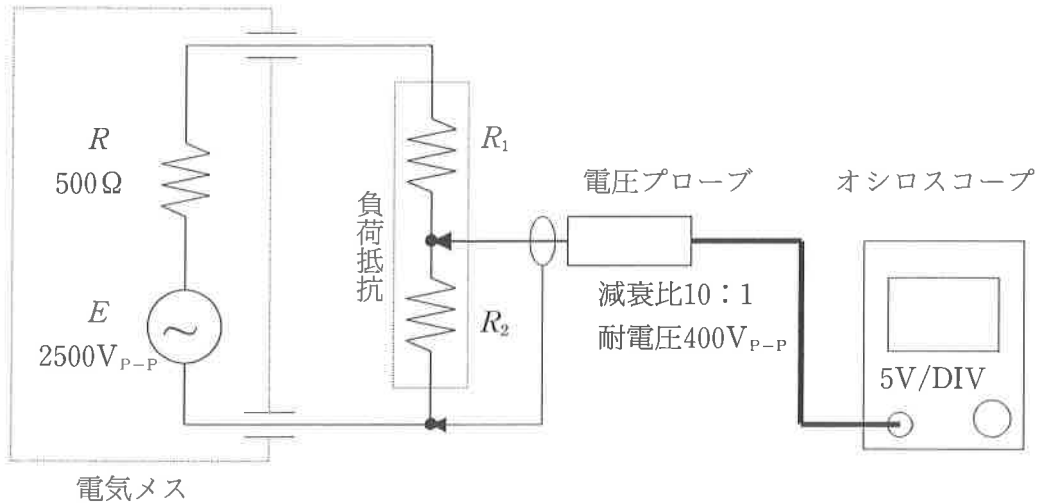
【正解】 ⑨= 2)

【解説】

- a. 塑性とは、外力によって生じた変形が外力を取り除いても元の状態に復元しない性質のことである。このような変形を塑性変形という。
- × b. 靱性とは、粘り強く衝撃によく絶える性質である。靱性の大きい材料は破断するまでのエネルギーが大きく、弾性限界を越えても容易に破断しない。したがって、外力を取り除くと完全にもとの状態に復元する性質は弾性限界内の現象であり弾性という。
- c. クリープとは、材料に一定の外力を加えたままの状態にしておくと、無限に変形が続く性質のことである。
- × d. 脆性とは、靱性の反対で衝撃に対して弱く、もろい性質である。一般的に材料は低温状態ではもろくなる性質がある。
- × e. 延性とは、材料に引張り荷重をかけて塑性変形を与え、線状に伸ばすことのできる性質のことである。材料の破壊には、粘りのある破断状態を示す延性破壊と、もろくてきれいな破断状態を示す脆性破壊がある。問題の流動体が外力に抵抗する性質は延性ではなく粘性である。

【問題7】 次の文章の空欄に当てはまる数値を解答欄 E , F に記入せよ。ただし、電気メスの内部抵抗 $R=500\ \Omega$, 電圧 $E=2500\ \text{V}_{\text{P-P}}$, 電圧プローブの減衰比は $10:1$, 耐電圧は $400\ \text{V}_{\text{P-P}}$ とする。[$4\times 2=8$]

図の回路で、電気メスの出力電圧波形をオシロスコープで観測したい。メス先電極と対極板間に負荷抵抗 (R_1+R_2) を接続した。この状態で負荷への供給電力が最大となる負荷抵抗値は E Ω である。また、プローブを破損しないように R_2 を求めたい。 R_2 のとり得る最大値は F Ω である。



【正解】 $\text{E}=500\ \Omega$ $\text{F}=160\ \Omega$

【解説】

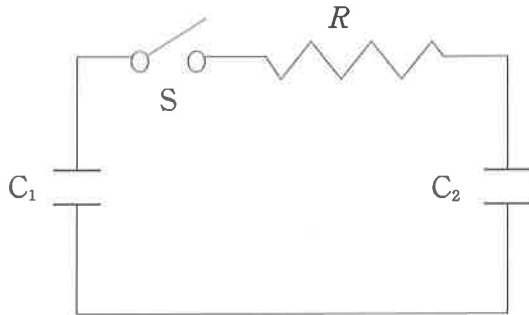
消費電力が最大となる条件は、内部抵抗値=負荷抵抗値。したがって $(R_1+R_2)=500\ \Omega$ 。この合成抵抗に加わる電圧 $1250\ \text{V}_{\text{P-P}}$ の分圧条件は、 R_2 に加わる電圧が電圧プローブの耐電圧 $400\ \text{V}_{\text{P-P}}$ 以下になればよい。

$$1250\ \text{V}_{\text{P-P}} \times \{R_2 / (R_1 + R_2)\} < 400\ \text{V}_{\text{P-P}}$$

$$1250\ \text{V}_{\text{P-P}} \times \{R_2 / 500\} < 400\ \text{V}_{\text{P-P}}$$

より $R_2 < 160\ \Omega$ となる。

【問題8】 図の回路でコンデンサ C_1 には電荷 $Q[C]$ が貯まっている。コンデンサ C_2 の両端の電圧はゼロである。ここで、スイッチ S を閉じたあとに、抵抗 $R[\Omega]$ で消費される全電力はいくらか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、 C_1 、 C_2 のキャパシタンスの値は同じで $C[F]$ であり、抵抗以外で電力は消費されないものとする。[6]



- 1) $\frac{Q^2}{2RC^2}$ 2) $\frac{Q^2}{4RC^2}$ 3) $\frac{Q^2}{2C}$ 4) $\frac{Q^2}{4C}$ 5) $\frac{RQ^2}{2C}$

[正解] ⑩ = 4)

[解説]

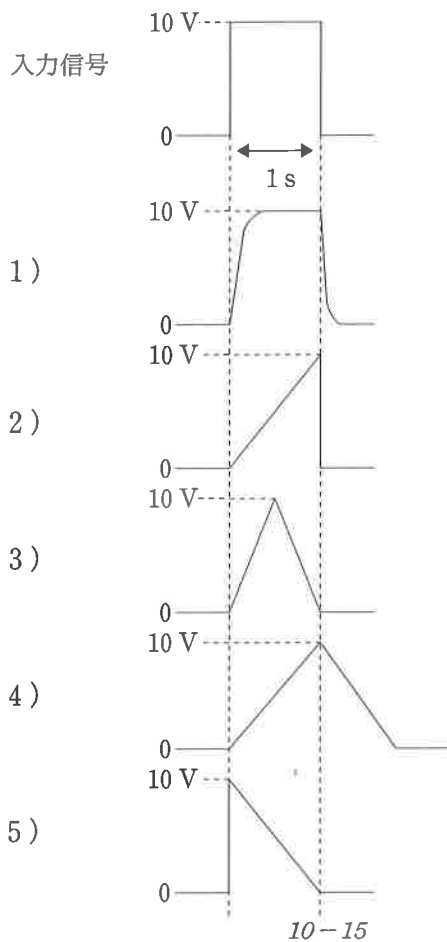
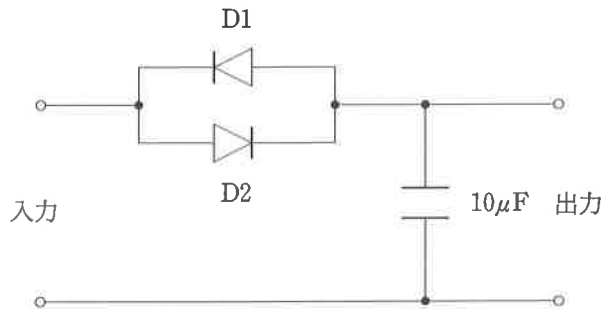
理解すべき要点

- a) エネルギーは抵抗だけで消費される。
- b) 消費エネルギー = 現象前後の蓄積エネルギーの差
- c) キャパシタンス C に電荷 Q が溜まった場合の静電エネルギーは $Q^2/2C$ で表わされる。
- d) 回路中の電荷 Q は、スイッチ開閉前後で保存される。

以上の a) ~ d) のことから、次のように計算する。

- I) スイッチ S がオフの時、コンデンサ C_1 のキャパシタンスは C であるから、電荷 Q が溜まった状態での蓄積静電エネルギーは $Q^2/2C$ [J] である。
- II) コンデンサ C_1, C_2 のキャパシタンスは共に C であるから、スイッチ S をオンにして十分時間が経った後、それぞれに溜まった電荷は $Q/2$ になる。よって、それぞれの蓄積静電エネルギーは、 $(Q/2)^2/2C$ [J] = $Q^2/8C$ [J] となる。よって、2つのコンデンサの蓄積静電エネルギーの和は、 $Q^2/4C$ [J] となる。
- III) 上記、I) と II) の差が失われた静電エネルギーで、これは、抵抗 (R [Ω]) に電流が流れたために失われたものと考えられる。すなわち、抵抗の消費エネルギーは、 $Q^2/4C$ [J] となる (選択肢の 4)。なお、スイッチの開閉で火花が出る場合は、そこでもエネルギー損失はあるが、題意で「抵抗以外で電力は消費されないものとする」としているのので、これらは考えなくてもよい。

【問題9】 図のダイオード D1, D2 は順方向電流 0.1 mA の理想定電流ダイオードである。入力にパルス幅 1 s, 振幅 10 V の方形波を入れたとき, 出力(コンデンサの両端の電圧)に現れる波形はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし, 解答肢の波形の時間スケールは入力波形の時間スケールと同じである。[6]



[正解] ⑪ = 4)

[解説]

理解すべき要点

- a) 定電流ダイオードは一定電流を流すダイオードで、FETの定電流特性を利用して作る。
- b) コンデンサを定電流で充電すると、その端子電圧は時間に比例して直線的に増加する。
- c) コンデンサを定電流で放電すると、その端子電圧は時間に比例して直線的に減少する。

以上の a) ~ c) のことから、次のように考える。

- I) $10\ \mu\text{F}$ のコンデンサの両端の電圧をゼロとすれば (入力信号がずっとゼロなら、定電流ダイオード D2 を通して放電しているので、電圧はゼロである)、定電流 $0.1\ \text{mA}$ で $1\ \text{s}$ 間充電すると、

$$\text{電荷 (C)} = \text{電流 (A)} \times \text{時間 (s)}$$

であるので、電荷は、時間に比例して直線的に大きくなる。 $1\ \text{s}$ 後には

$$0.1\ \text{mA} \times 1\ \text{s} = 0.1\ \text{mC}$$

の電荷が溜まることになる。よって、コンデンサ両端の最終電圧は

$$0.1\ \text{mC} / 10\ \mu\text{F} = 10\ \text{V}$$

となる。この電圧は、入力信号の最大値であるので、この値までは、コンデンサは充電される。

- II) 入力信号は $1\ \text{s}$ 後にゼロになるので、この時点から、コンデンサから定電流ダイオード D1 を通って放電を開始する。放電は、上記 I) と逆で、コンデンサ両端の電荷は、時間に比例して直線的に小さくなる。よって、コンデンサの両端の電圧は、 $10\ \text{V}$ から直線的に下降する。ただし、コンデンサ両端の電圧がゼロになれば、D1 の両端の電圧がゼロになり、電流は止まる。

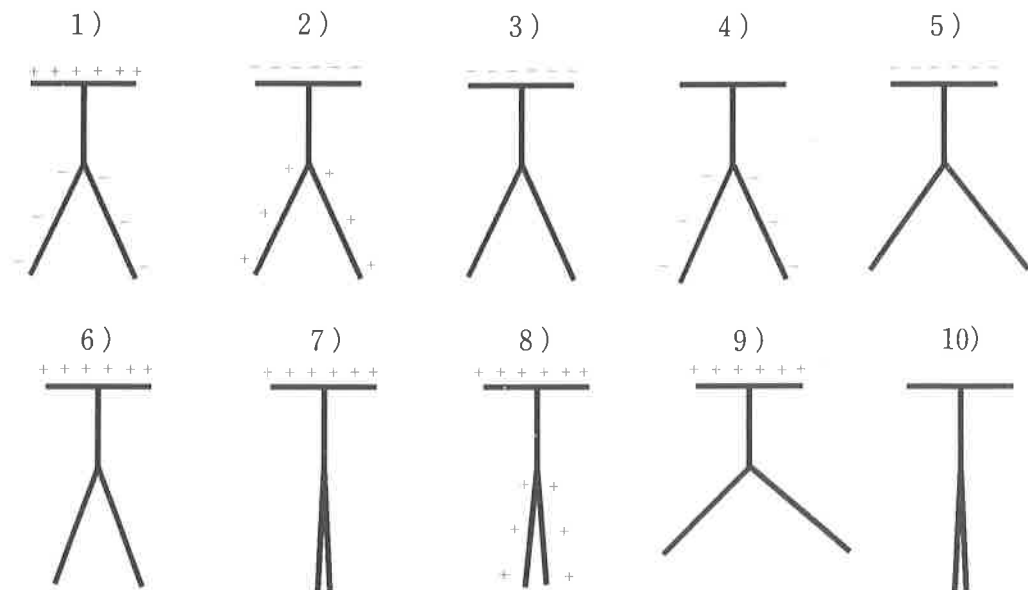
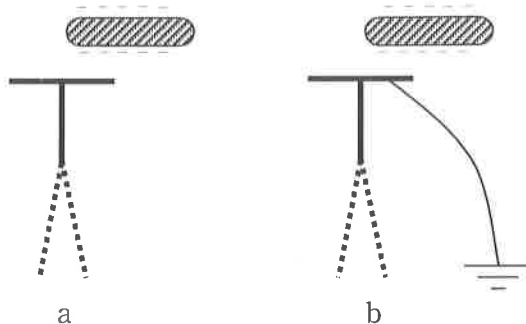
- III) 以上の解析結果から、本問の正解は 4) の $1\ \text{s}$ 間単調増加し $10\ \text{V}$ になり、その後 $1\ \text{s}$ 間で単調減少してゼロになる三角波になることがわかる。

(回答選択肢 4 の波形図は、立下り波形が立上がり波形と対称形でないように見えるが、問題のトレースミスといえるだろう。)

【問題 10】 以下の設問に答えよ。

10-1 図 a に示すように、箔の閉じた検電器にマイナスに帯電した棒を近づけた。このときの電荷分布と箔はどのようなになるか。番号を解答欄 にマークせよ。[3]

10-2 その状態を保ち、図 b のように上部の金属部分を接地した。電荷分布と箔はどのようなになるか。番号を解答欄 にマークせよ。[3]



[正解] ⑫ = 1) ⑬ = 7)

[解説]

10-1

検電器内ではプラスの電荷の数とマイナスの電荷の数が等しく存在し電気的に中性の状態にある。マイナスに帯電した棒を図に示すように検電器に近づけると検電器内のプラスの電荷がマイナスの電荷に引かれ検電器の上部表面に現れる。結果として、検電器内のマイナスの電荷は余分な電荷として検電器の下部の箔に集まる。同符号の電荷は反発し合う（クーロンの法則）ので余分なマイナス電荷の存在する箔部分は互いに反発しあうことになり、図1)のように箔は開いた状態になる。

10-2

マイナスに帯電した棒を同じ状態にしたままで検電器を図b)のようにアースすると、プラスの電荷は棒に帯電したマイナス電荷により先と同様に検電器の上面に引き付けられる。残ったマイナス電荷は先とは異なり、箔の部分に集まることなくアースラインを伝わって地球上に移動する。このため、箔部分は電気的に中性を保つことになり、図7)の様に箔は閉じる。

【問題11】 $100\ \Omega$ 、 $1/8\ \text{W}$ の抵抗に $10\ \text{V}$ を加えたところ、抵抗が焼損してしまった。 $1\ \text{k}\Omega$ 、 $1/8\ \text{W}$ の抵抗を10本を用いて $100\ \Omega$ の抵抗を作り、同様に $10\ \text{V}$ を加えたが、抵抗は焼損しなかった。これは、 $1\ \text{k}\Omega$ 、 $1/8\ \text{W}$ の抵抗1本で消費される電力が、 $100\ \Omega$ 、 $1/8\ \text{W}$ の抵抗で消費される電力の何倍であるためか。

解答欄 に記入せよ。[6]

【正解】 ㊦=0.1, 10^{-1} , $1/10$ 何れでもよい

【解説】

$100\ \Omega$ の抵抗に $10\ \text{V}$ の電圧を印加すると $0.1\ \text{A}$ の電流が流れる。したがって、抵抗で消費される電力は i^2R で与えられるから

$$0.1\ \text{A} \times 0.1\ \text{A} \times 100\ \Omega = 1\ \text{W}$$

となり、 $1/8\ \text{W}$ の抵抗は焼損してしまう。

$1\ \text{k}\Omega$ の抵抗10本を使用して $100\ \Omega$ の抵抗を作るためには、10本全てを並列に接続すればよい。並列接続された10本の抵抗に $10\ \text{V}$ の電圧を印加すると全体で $0.1\ \text{A}$ の電流が流れることになるから、 $1\ \text{k}\Omega$ の抵抗1本には $0.01\ \text{A}$ の電流が流れることになる。したがって、 $1\ \text{k}\Omega$ 1本で消費される電力は

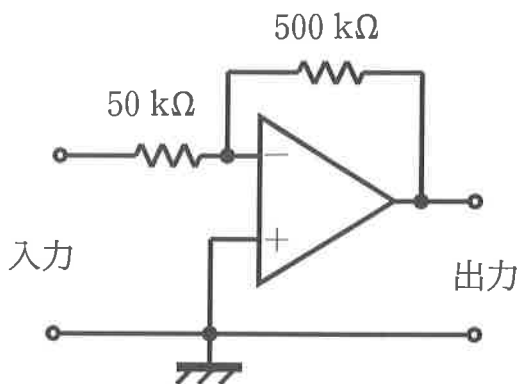
$$0.01\ \text{A} \times 0.01\ \text{A} \times 1000\ \Omega = 0.1\ \text{W}$$

となる。 $1\ \text{k}\Omega$ の抵抗で消費される電力は $100\ \Omega$ の抵抗で消費された電力の 0.1 倍となる。

なお、 $1\ \text{k}\Omega$ の抵抗は $1/8\ \text{W}$ ($0.125\ \text{W}$) であるから $0.1\ \text{W}$ の消費電力では焼損しない。

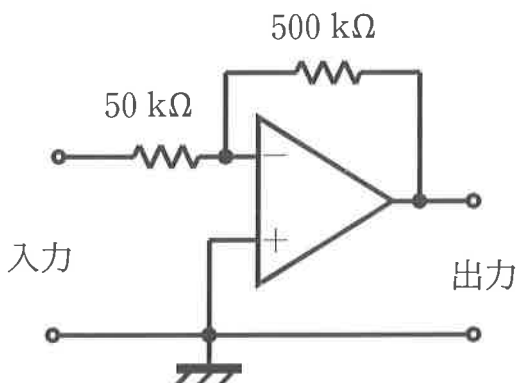
【問題 12】 図は市販のオペアンプを使った増幅回路である。誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 回路の入力インピーダンスは無限大である。
- b. 入力と出力の電圧波形は位相が反転する。
- c. 電圧増幅率は回路の抵抗の値で決まる。
- d. 増幅帯域幅は出力電圧の振幅に依存する。
- e. 出力インピーダンスは約 $500\text{ k}\Omega$ である。



- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】⑭ = 4)



【解説】 オペアンプの基本動作に関する問題である。この問題は反転増幅器を題材として反転・非反転，バーチャルショート，入力端子には電流が流れない，スリューレイト，出力インピーダンスは非常に低いなどの基本的な性質を訊いている。

× a. 増幅回路の入力インピーダンスは無有限大である。

オペアンプの入力インピーダンスはほぼ無限大であるものの，この問題は回路の入力インピーダンスをたずねている。バーチャルショートにより2つの入力端子間は短絡しているので， $50\text{ k}\Omega$ の抵抗のオペアンプ側は接地されていることと等価になる。従って入力インピーダンスは $50\text{ k}\Omega$ となる。

○ b. 入力と出力の電圧波形は位相が反転する。

○ c. 電圧増幅率は回路の抵抗値で決まる。

○ d. 許容最大周波数は出力電圧の振幅に依存する。

× e. 出力インピーダンスは $500\text{ k}\Omega$ である。

オペアンプの出力インピーダンスは非常に低く，一般に数十オーム以下である。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【問題 13】 医療情報ネットワークに接続される医療機器導入時の選定について適切でない考え方はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 患者情報が、ネットワークからもれないよう最大の注意を払う。
- b. データの入出力のプロトコルには、一般性・互換性の高い規格を採用する。
- c. 現有機器に蓄積されたデータは他社では活用できないはずなので、同じ会社の新製品にする。
- d. データ出力を自院の独自規格にあわせるために同型番の心電計5台を改造させる。
- e. データ分析のために標準出力の1つとしてCSV形式で出力することを仕様に入れる。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ⑮ = 8)

【解説】

a. 患者情報が、ネットワークから漏洩しないよう最大の注意を払うのは当たり前であり、適切な考え方として迷うことは無かろう。ただ、個人情報保護法の制定にともない、個人にかかわる情報はネットワークであれ、USBメモリなどのメディアを介してであれ、病院情報システムから出してはならない、と頑なに考えるのみでは、医療・医学の進歩の原動力である医学研究を阻害しかねない。公衆の衛生や医学の向上に資する研究については、個人情報保護法のもとでも一定の制約はあるものの、従来の医学研究を継続できるよう配慮されている。患者情報の管理に関わるものは、自らの監督責任を問われぬよう個人情報は何でも使うな、という全面禁止な姿勢をとってはならない。ルールに基づいた前向きの研究支援が重要である。

b. データの入出力のプロトコルには、一般性・互換性の高い規格を採用することは、システムの経済性を著しく改善する。全てにおいて特注品のプロトコル

ルや独自規格を用いていると、外部からのネットワークを介した侵入や攻撃には強いだろうが、システムの更新や改良にも独自開発を強いられるので、機器やシステムの導入コストと経済性のバランスを失う。一般の市場で当該機能に見合う相場の価格以下で入手できたり、国際規格や国内規格あるいは学会推奨になっていることが、ここでいう「一般性・互換性の高い規格」ということになろう。適切な考え方である。

c. は注意を要する所である。現有機器に蓄積されたデータが他社では活用できないはずなので同社の新製品にすると、機器導入時に決定しておれば、確かに更新作業は楽であろうが、仮に競争入札の形式をとっても、事実上当該一社のみ製品の応札となって、公正な競争を望めず、高価な製品を購入することが想定される。つまり、機器導入や選定に際して不適切な考え方である。

現行医療機器の内部に蓄積されるデータのほとんどはデジタルデータであるが、言うまでもなくデジタルデータはシンプルな変換ソフトを通すだけで、どのようなデータ形式へも簡単にフォーマットや表現を変換できる。その作業量は普段行うデータのバックアップ作業と大きくは異なる。

機器更新やシステム更新の際にデータ移行費が高かったとか、高額だったためにより廉価で高性能な他社製品に更新することを諦めたという話を聞かすが、そのような状況は、或る意味で当該企業の不公正な商行為であり、医療機関側の機器選定担当者の無責任とすら言えよう。医師や検査担当者の操作により入力されたデジタル情報の蓄積は当該医療機関の固有のものである。電子カルテに要請される3条件の中で明確に示されたように、見読性は保証されなければならない。デジタル機器とその供給企業が当然に保証すべき見読性の見地からしても、蓄積データの全てを一般的な形式でのデジタル情報として購入者（医療機関）に提供する義務がある。一般的な形式でのデータ提供は、当該企業の機器やシステムの内部の仕様や特許などとは何の関係もなく、NDA（nondisclosure agreement 秘密保持契約）を締結する必要も本来ないものである。

これを理解せず、企業の言いなりに「事前の開示契約が無いので、蓄積されたデータの吐き出しにはあらためてう見積もりをして、対価を支払うのが当然だ。」

と考えてはならない。蓄積されたデータは機械のものでも供給企業のものでも無い、当該医療機関の固有のものである。機器更新にかぎらず、医療機関側が必要であればいつでも無料（巨大なDBであれば、1人日から5人日程度の作業実費は認めても良い場合はあろう。）で、全データを一般的な形式でのデジタル情報として購入者（医療機関）に提供するよう求め、それを実現させるのは機器購入担当者の責務である。

全データを一般的な形式でデジタル情報として提供を求める際の金額のトラブルを避けるために、予め機器やシステムの仕様を策定する際や、購入やレンタルの契約をする際に、「医療機関側の求めに応じて、蓄積された全データを速やかに一般的なデジタル情報として無料で提供すること。」というような文言を入れておくことも賢明な対策である。納品や検収の前であれば、ほとんどの企業がこの主旨の文章を拒否しない筈である。もちろん、このような文言が締結されていなくとも、上記の主旨を理解しているならば、機器の納入業者に「無料での全データの提供」を請求することは、当然の権利であり、ためらう必要は無い。

医療機器メーカーに在籍するME関係者は、このポリシーを積極的に利用して、情報の共有や標準化に関し、先陣を切っていることを営業活動につなげるべきであろう。

d. データ出力を自院の独自規格にあわせるために、同型番の心電計5台を改造させることは、適切ではない。1台だけの医療機器の改変は例外的に認められているが、同一機種で複数台の改造は、製造販売が型式認定される医療機器では違法行為となり、不適切な考え方である。

e. 医療機関の求めに応じて全データをCSV形式で無料出力する条項を仕様に入れることは、先のcでの解説に示したように、賢明で適切な考え方である。

【問題 14】 情報通信媒体として使われる電波について正しいのはどれか。番号を解答欄 ⑩ にマークせよ。[6]

- a. 電波とは、電波法によると 3000 GHz 以下の電磁波をいう。
- b. 小電力用医用テレメータには極超短波(UHF)が使われる。
- c. 衛星テレビ放送には超短波(VHF)が使われる。
- d. 電波の伝播速度は、空気中ではおよそ 3×10^{10} m/s である。
- e. 電波を遮断するのに、鉄板を用いることはできない。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ⑩ = 1)

【解説】

電波は、携帯電話、衛星放送、衛星国際通信、各種防災無線、船舶、航空機、列車無線・・・等々、情報の伝達媒体としては欠かせない。とくに、最近では携帯電話の普及と共にインターネットの情報通新媒体として電波の利用が増加し、電話回線や有線回線インターネット回線端末のないところでの情報通信が盛んである。当然ながら、ME 技術者にとっても医療情報通信媒体である電波の特性等に関する正しい知識と利用技術が求められる。

電波とは、一般に赤外線以上の波長を持つ電磁波と定義されているが、電波法の規定に基づく電波とは 3,000 GHz 以下の周波数の電磁波と定義されている(表参照)。また、電波は、電界と磁界との相互作用によって生じる高周波電磁界振動で、電界と磁界とが互いに直交して伝搬する波動である。

電波の伝搬速度は、真空中(または空気中)では約 30 万キロメートル/秒($c \doteq 3 \times 10^8$ m/s) である。電波が伝搬して異なる媒質の境界に入射するとき、反射、屈折、干渉、回折、散乱、吸収の一般的性質がある。電波は、金属等の導体表面や鉄などの強磁性体では反射され、絶縁体(誘電体)内を伝搬するときには、途中で吸収され減衰する。この場合、電波の減衰率は誘電体の種類などと波長に

よって異なる。また、金属などの導体内では電波を構成する電界成分が存在できないため導体内部には電波が存在できない。したがって、電波を遮へい（シールド）するには銅板や鉄板などの金属板が用いられることが多い。

周波数・名称・用途

周波数	名称	主な用途
3,000 GHz～300 GHz	サブミリ波	宇宙通信,
300 GHz～30 GHz	ミリ波 (EHF)	
30 GHz～3 GHz	マイクロ波 (SHF)	衛星放送, 宇宙通信
3,000 MHz～300MHz	極超短波 (UHF)	テレビ, 携帯電話, 医用テレメータ
300 MHz～30 MHz	超短波 (VHF)	テレビ, FM 放送, タクシー無線
30 MHz～3 MHz	短波 (HF)	短波放送, 標準電波
3,000 kHz～300 kHz	中波 (MF)	ラジオ放送
300 kHz～30 kHz	長波 (LF)	航空機航行用
30 kHz～3 kHz	超長波 (VLF)	船舶
3 kHz～以下		

* 周波数範囲と名称および主な用途との境界は明確ではない。

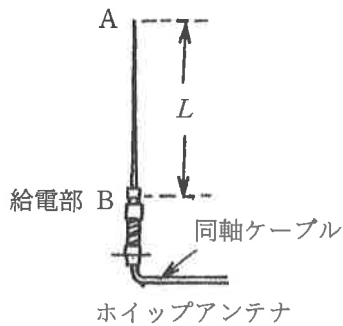
* 電波の利用は、電波法によって周波数割当てが定められている。

- a. 3,000 GHz (3 THz) 以下の電磁波を電波という。
- b. 小電力用医用テレメータで使用される電波は、極超短波 (UHF) 400 MHz 帯の 60 チャンネルが割り当てられている。
- × c. 衛星テレビ放送にはマイクロ波 (SHF) 12 GHz 帯が使われている。
- × d. 電波の伝搬速度は真空中では光速 c ($=2.997925 \times 10^8 \text{ m/sec}$) と同じである。空気中では真空中よりやや遅くなるが、真空中とほぼ同じ速度として扱われる。
- × e. 導体内部には電波が存在できないため、電波は導体表面で反射され透過することができない。鉄は導体 (強磁性体でもある) であるから電波を遮断することができる。

【問題 15】 図に示す垂直接地アンテナ(ホイップアンテナ)の原理的説明について正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. アンテナに流れる電流分布は先端 A 点で最大, 給電部 B 点でゼロとなる。
- b. 放射電波は水平方向には無指向性である。
- c. アンテナの長さ L が使用電波の波長の $\frac{1}{4}$ のときに同調する。
- d. 垂直接地アンテナからの放射電波は水平偏波である。
- e. $L=20$ cm の垂直接地アンテナの同調周波数は, 理論的にはおよそ 200 MHz である。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

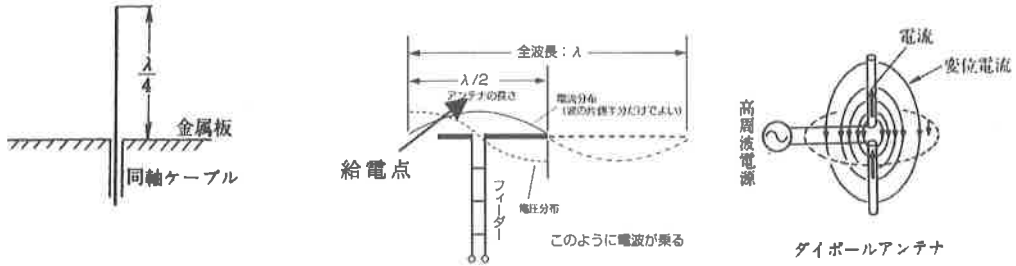


[正解] ⑰ = 5)

[解説]

1/2 波長ダイポールアンテナ(図)を例に、アンテナから電波が放射される原理と特性について説明する。電波の波長 λ 、長さ $L = \lambda/2$ の電線(アンテナ)の中央(給電点)に高周波電圧を印加すると、電線を電流(電子の流れ:導電流という)が流れ、一方の電線から他方の電線へ空間を通過して電流(電界の変化に形を変えた電流:変位電流)が流れる。このとき、電線部分の電流分布は、給電点で最も大きく、アンテナ電線の先端では電子が流れないから0である。つまり、長さ L のアンテナに、電波の波長の $\lambda/2$ の高周波電流の定在波が乗った状態になり、電波にアンテナが共振(または同調)する。この共振時に最も効率よく電波が放射される。受信アンテナとして使用する場合は、この共振することで最も効率よく給電部に起電力が発生(受信)することになる。1/4 波長垂直接地アンテナの場合は、1/2 波長ダイポールアンテナの一方の電線部を大地や無線送信機の外装あるいは機体などの導体が兼ねることで、電波の波長 λ の 1/4 の長さで同調する。アンテナから放射される電波は、一般に電界の振動方向が一定方向に偏った偏波である。

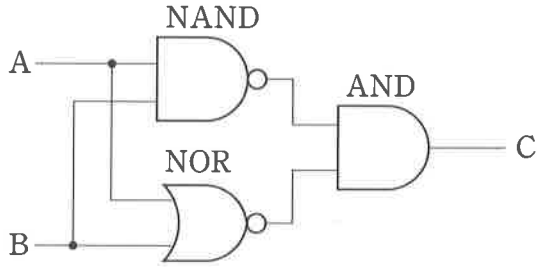
ホイップアンテナのような直線(棒)状アンテナから放射される電波の電界振動方向(偏波)はアンテナ線に平行方向である。つまり、水平に設置されたダイポールアンテナからは水平偏波が放射され、垂直に設置されたアンテナからは垂直偏波である。また、アンテナから放射される電波の指向性は、アンテナ線に直角方向の空間には無指向性である。これらの関係は、送信アンテナも受信アンテナも理論的には同様に扱われる。しかし、受信アンテナは、使用電波の波長とアンテナの長さの関係は必ずしも理論的に厳格なものではなく、アンテナ線の一部にコイルを加えて等価的に共振させ使用することもある。



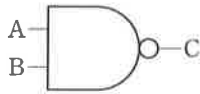
1/4 波長垂直接地アンテナ

- × a. アンテナの電線部分に流れる電流分布は給電点（部）が最大で、先端部は通常 0 である。
- b. 垂直アンテナに直角なすべての水平方向には無指向性である。
- c. 垂直接地アンテナだから、原理的に $L = \lambda/4$ のとき共振する。
- × d. 放射電界は垂直なアンテナ線に平行だから垂直偏波となる。
- × e. アンテナの長さ $L = 20 \text{ cm}$ ということは、 $\lambda = 4L$ で共振するから $\lambda = 0.8 \text{ m}$ 、周波数は $f = c/\lambda = 375 \text{ MHz}$ であり共振しない。

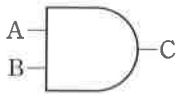
【問題16】 NAND(否定論理積), NOR(否定論理和), AND(論理積)で構成される次の論理回路において, 入力 A, B の各状態に対して C の出力が等価となる論理回路はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]



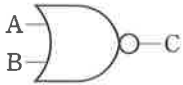
1) NAND



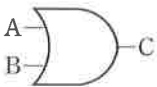
2) AND



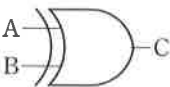
3) NOR



4) OR



5) EXOR



[正解] ⑬ = 3)

[解説]

入力 A, B に対する 3 つの論理素子の出力を真理値表で表すと以下のような表になる。

A	B	NAND 出力	NOR 出力	AND 出力
0	0	1	1	1
0	1	1	0	0
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0

AND の出力 C を論理式で表すと、 $A \cdot B$ となる。

ド・モルガンの定理より、 $A \cdot B = \overline{A+B}$ となり、出力は $A+B$ (OR 素子) の否定となるので、選択肢 (3) の NOR 回路と等価となる。

【問題 17】 近年、病院で使われるコンピュータや携帯端末に LAN が使用されるようになった。LAN について誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. インフラストラクチャ接続は、アクセスポイントを介して通信を行う方法である。
- b. Bluetooth は、パソコンや携帯電話などを用いて音声・データの無線通信を可能とする。
- c. IEEE 802.11 a の無線 LAN は、IEEE 802.11 b の通信速度に比して一般に遅い。
- d. アドホック接続は、アクセスポイントを介することなく、パソコン間の相互接続を可能にする方法である。
- e. WEP(wired equivalent privacy)は、有線 LAN において送受信するデータを暗号化する一手法である。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ⑬ = 7)

【解説】

a) と d) は無線 LAN の通信方式に関する設問である。インフラストラクチャ接続は、アクセスポイントを介して通信を行う方法である。

一方、アクセスポイントを介さずに機器同士が直接通信を行う方法はアドホック接続という。

また、b) の Bluetooth は、Ericsson 社、IBM 社、Intel 社、Nokia 社、東芝の 5 社が中心となって提唱している携帯情報機器向けの無線通信技術であり、ノートパソコンや PDA、携帯電話などをケーブルを使わずに接続し、音声やデータの無線通信を可能としている。

c) は IEEE (米国電気電子学会) で LAN 技術の標準を策定している 802 委

員会が1998年7月に定めた無線LANの標準規格群に関する設問である。標準規格には、現在、IEEE 802.11 a, IEEE 802.11 b IEEE 802.11 g などがある。

IEEE 802.11 a は、5.2 GHz 帯の無線周波数帯域を使用し、約 54 Mbps の通信を行う仕様である。IEEE 802.11 b や IEEE 802.11 g に比べると、電波干渉を起こす可能性が低く、比較的安定した通信速度を得ることができる。

IEEE 802.11 b は、2.4 GHz 帯の無線周波数帯域を使用し、最大約 11 Mbps で通信することのできる仕様である。IEEE 802.11 a に比べると障害物に強いという性質を持っているが、無免許で利用できる電波を利用するため、電波干渉を起こす可能性が高い。

したがって、c) の「IEEE 802.11 a の無線LANは、IEEE 802.11 b の通信速度に比して一般に遅い」という記述は間違いである。

IEEE 802.11 g は、2.4 GHz 帯の無線周波数帯域を使用し、最大 54 Mbps で通信することのできる仕様である。IEEE 802.11 a に比べると障害物に強いという性質を持っている。

次に、WEP (Wired Equivalent Privacy) は、IEEE 802.11 の無線LANにおける通信のプライバシーを守るために用いられる暗号化方式である。無線LANのアクセスポイントとクライアントに共通の暗号鍵 (WEP キー) を設定して、通信の暗号化を行う。

したがって、e) の「有線LANにおいて送受信するデータを暗号化する一手法」の記述は間違いである。

【問題 18】 異機種間のデータ通信を実現するため、使われるプロトコルや LAN 接続の説明の組み合わせで正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。〔6〕

- a. データの送信元 MAC アドレスから、どの LAN 上にどの MAC アドレスの装置があるかをアドレステーブルに記憶する。
- b. ネットワークに接続されたコンピュータに割り振られた識別番号のこと。
- c. LAN では 1 本のケーブルの最大長が決められており、単純に距離を延長するために 2 本のケーブルを接続する際に使う。
- d. 最適な経路を選択し、相手を指定して中継するパス決定機能と交換機能の基本的な機能をもつ。
- e. インターネット上に存在する情報資源の場所を指すホームページの「住所」のこと。

	a	b	c	d	e
1)	ブリッジ	ルータ	URL	IP アドレス	リピータ
2)	リピータ	ブリッジ	ルータ	URL	IP アドレス
3)	IP アドレス	リピータ	ブリッジ	ルータ	URL
4)	URL	IP アドレス	リピータ	ブリッジ	ルータ
5)	ルータ	URL	IP アドレス	リピータ	ブリッジ
6)	ブリッジ	IP アドレス	リピータ	ルータ	URL
7)	URL	ブリッジ	IP アドレス	リピータ	ルータ
8)	ルータ	URL	ブリッジ	IP アドレス	リピータ
9)	リピータ	ルータ	URL	ブリッジ	IP アドレス
10)	IP アドレス	リピータ	ルータ	URL	ブリッジ

〔正解〕 ⑩ = 6)

〔解説〕

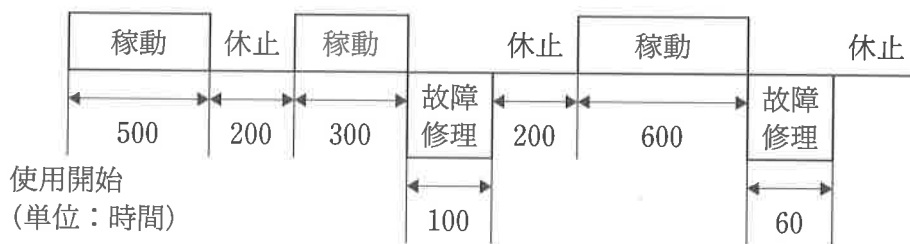
データ通信に頻繁に使われるプロトコルや LAN (Local Area Network) 接続の説明である。

以下に各用語の説明をする。

- a) のデータの送信元 MAC (Media Access Control) アドレスから、どの LAN 上にどの MAC アドレスの装置があるかをアドレステーブルに記憶するのは、ブリッジの役割である。
- b) のネットワークに接続されたコンピュータに割り振られた識別番号は IP アドレスという。
- c) の LAN では 1 本のケーブルの最大長が決められており、単純に距離を延長するために 2 本のケーブルを接続する際に使うのは、リピータである。
- d) の最適な経路を選択し、相手を指定して中継するパス決定機能と交換機能の基本的な機能をもつのは、ルータである。
- e) のインターネット上に存在する情報資源の場所を指すホームページの「住所」のことを URL (Uniform Resource Locator) と言う。

したがって、解答は 6) が正解。

【問題 19】 下図はある機器の稼動状態を示したものである。この機器の MTBF は何時間か。番号を解答欄 にマークせよ。[6]



- 1) 700 2) 800 3) 900 4) 1400 5) 1800

【正解】 ⑳ = 1)

【解説】 MTBF について JIS Z 8115:2000 では「平均故障間動作時間」とし、備考で「ある特定期間中の MTBF は、その期間中の総動作時間を総故障数で除した値である。故障間動作時間が指数分布に従う場合には、どの期間をとっても故障率は一定であり、MTBF は故障率の逆数になる。」と説明をしている。

問題の例では、最初の故障までの動作時間は $500 + 300 = 800$ 時間であり、つぎの故障までの動作時間は 600 時間である。したがって、総動作時間は 1400 時間となり、総故障数 2 回で除すと、700 時間となる。なお、動作時間には「休止」期間や「修理」時間は含めない。

【問題 20】 ノートパソコンの AC 電源アダプタケーブルに、図のような円筒形のフェライトコアがついているものがある。この理由として正しいのはどれか。

番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 漏れ電流を減らすため。
- b. ケーブルの自己インダクタンスを増すため。
- c. 過電流を防止するため。
- d. ケーブルの機械的強度を高め、断線を防止するため。
- e. 電磁波雑音を抑えるため。



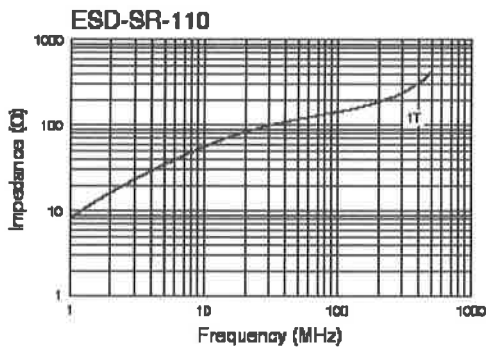
- | | | | | |
|---------|---------|---------|---------|----------|
| 1) a, b | 2) a, c | 3) a, d | 4) a, e | 5) b, c |
| 6) b, d | 7) b, e | 8) c, d | 9) c, e | 10) d, e |

【正解】 ㉔ = 7)

【解説】 マイクロコンピュータで動いている電子機器は、装置の内部に高速のパルス信号が発生している。これらのパルス信号は非常に高い周波数までの高調波を含んでおり、これが外部に放出されると他の機器に妨害を与えることとなる(妨害波という)。そこで、妨害波を抑制するために装置は金属などで囲みシールドされるが、電源コードやインターフェイスケーブルは時として装置内部の雑音を外部に放出してしまう役割を持つことがある。

図は電源ケーブルを丸形のフェライトコアで挟み込んだもので、これにより無端ソレノイドに巻数1のコイルを形成してケーブルの自己インダクタンス(インピーダンス)を増加させ、妨害波の放出を低減させるようにしたものである。

したがって、解答肢の中で正しいものはbとeとなり、他は直接していない。なお、参考までに市販のこの種のコアによるインピーダンス特性を下記す。



【問題 21】 電磁波による植込み型心臓ペースメーカーへの影響について誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 植込み型心臓ペースメーカーから 22 cm 以上離せば携帯電話を使用しても安全である。
- 2) 電気メスのメス先を直接植込み型心臓ペースメーカー本体に付けるとペーシングが停止することがある。
- 3) 無線 LAN で植込み型心臓ペースメーカーがリセットされることがある。
- 4) ワイヤレスカードシステムで植込み型心臓ペースメーカーが影響を受けることがある。
- 5) IH(induction heating : 誘導加熱)炊飯ジャーを抱きかかえると、植込み型心臓ペースメーカーがリセットされることがある。

【正解】㉓＝3)

【解説】電磁波による植込み型心臓ペースメーカへの影響に関することは、総務省から出された平成9年と平成14年の調査報告書ならびに総務省のホームページに掲載されている。

- 1) 平成9年に出された指針では、植込み型心臓ペースメーカから22 cm以上離して携帯電話を使用するように指示されている。22 cmの根拠は、実験したすべての機種における最大干渉距離が15 cmだったので、これに安全係数 $\sqrt{2}$ を掛けて22 cmとしたものである。これは携帯電話の出力が半分になる距離に相当する。平成14年の調査でも最大干渉距離が15 cmを超えるものがなかったので、現在でも使用安全距離は22 cmとなっている。
- 2) 電気メスは大きな電流を人体に流すので、植込み型心臓ペースメーカへの影響は無視できない。メーカーの取扱説明書にも電気メスの使用を控えるように書かれている。まして、メス先を植込み型心臓ペースメーカ本体に直接付けるようなことをすると、非常に大きな影響を受けることが考えられ、最悪ではペースングが停止することもあり得る。電気メスの使用に際しては十分な注意が必要である。
- ×3) (社)電波産業会による「電波の医用電気機器等への影響に関する調査研究報告書」(平成平成16年)では、無線LANによる植込み型心臓ペースメーカへの影響も調査された。その結果、影響が確認され個別に対応した1機種以外の他の機種については何ら影響は見られなかった。また、その影響を受けた1機種の場合も、ペースメーカがリセットされるようなことはなかった。
- 4) ワイヤレスカードシステムに植込み型心臓ペースメーカを至近距離まで近づけると、一部の機種で影響を受ける場合があることが分かっている。
- 5) IH (Induction Heating: 誘導加熱) 炊飯ジャーを抱きかかえて植込み型心臓ペースメーカがリセットされた事例報告がある。最近ではIH炊飯ジャーに限らずIH製品が広く普及しているが、これら他のIH製品でもペースメーカへの影響があることが確認されている。

【問題 22】 「フルブーフ」の考え方が取り入られているのはどれか。番号を

解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 非接地配線方式の電源の絶縁監視装置
- b. オートマチック車のシフトレバー
- c. 加温加湿器の空焚き防止装置
- d. 電源回路の過電流ブレーカ
- e. コンパクトカメラの自動焦点機構

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】④＝7)

【解説】「フルプルーフ」と「フェイルセーフ」の違いに関する問題である。

「フルプルーフ」：誤った行為を行えない（行いにくい）もしくは受け付けない（危険予防手段）, 「フェイルセーフ」：機器トラブルや誤操作により異常事態が発生しても安全性が保たれる（危険回避手段）ということから判断する。

- × a. 非接地配線方式の電源の絶縁監視装置は絶縁不良状態検出時にアラームが発生するもので、フェイルセーフ的なアラームシステムである。
- b. オートマチック車のシフトレバーはボタンを押さないとギアシフトしない。これは“誤った行為を行いにくくした”構造なので、フルプルーフである。
- × c. 加温加湿器の空焚き防止装置は水がなくなるとアラームが出てヒータが切れる、つまり“異常事態が発生しても安全性が保たれる”に相当するのでフェイルセーフである。
- × d. 電源回路の過電流ブレーカは使用している電気機器の消費電流の合計が電源容量を超えたときのリスクを回避するために電源回路を遮断する、つまり“異常事態が発生しても安全性が保たれる”に相当するのでフェイルセーフである。
- e. コンパクトカメラの自動焦点機構は手動で調整する場合のミスを防ぐ。このような簡単な操作法も“誤った行為を行いにくくした”と言えるので、フルプルーフである。

【問題 23】 ICU のベッドサイドモニタで、心電図、動脈圧、肺動脈圧、体温、呼吸、 SpO_2 のモニタリングを行っている患者に IABP が導入された。IABP では内蔵のモニタで心電図と動脈圧がモニタリングされていた。ベッドサイドモニタならびに IABP でモニタリングされている各パラメータの信頼度がすべて 0.90 であるとき、心電図、動脈圧、肺動脈圧、体温、呼吸、 SpO_2 の 6 つのパラメータすべてがモニタリングされる信頼度はどれに近い。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 0.53
- 2) 0.64
- 3) 0.81
- 4) 0.90
- 5) 0.99

【正解】 ② = 2)

【解説】 ICU のベッドサイドモニタでモニタリングされている心電図、動脈圧、肺動脈圧、体温、呼吸、 SpO_2 の 6 つのパラメータのうち、心電図と動脈圧の 2 つは IABP 内蔵のモニタでもモニタリングされているので、信頼度 0.9 の並列システムとなり、それぞれの信頼度は $0.9+0.9-0.9\times 0.9=0.99$ である。したがって、6 つのパラメータすべてがモニタリングされる信頼度 R_t は、信頼度 0.99 の心電図ならびに動脈圧と信頼度 0.9 の他 4 つのパラメータで構成される直列システムとなり、 $R_t=0.992\times 0.94=0.64$ である。

【問題 24】 次の図記号のうち、心電図モニタ付除細動器に表示される可能性のあるものはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]



- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ㉔ = 2)

【解説】 これらの図記号のうち心電図モニタ付除細動器に表示される可能性があるものは、aの「高電圧」、cの「注意、附属文書を参照」の2つだけである。bの「電離放射線」とdの「非電離放射線」は除細動器に表示されることはない。また、eの「CF形装着部」は「耐除細動形」のマークがないので、心電図モニタ付除細動器に表示されることはあり得ない。通常、心電図モニタ付除細動器には「耐除細動形」のマークが付いた「耐除細動形のCF形装着部」もしくは「耐除細動形のBF形装着部」の図記号が表示されているはずである。

【問題 25】 顕著な電氣的異方性を示すのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 血液
- b. 肝
- c. 筋
- d. 真皮
- e. 肺

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] ②7 = 8)

[解説] 電氣的異方性とは、切り出した生体組織あるいは採取した体液に電流を流したとき、流す方向によって導電率や誘電率など電氣定数に違いが生じることを指す。採取された血液は巨視的には均質な物質と考えられ、重力の影響を除けば異方性の生じる余地はない。同様に、実質臓器である肝や肺も巨視的には均質に近く、異方性が顕著に現れることはないと言って良い。他方、筋では、ミクロからマクロのレベルに至るまで線維構造が見られ、この特殊な細胞形状と配列のために、線維に直交する方向と平行する方向では顕著な力学的異方性を示すことはもちろん、電氣的異方性も現れる。また真皮では切り出した組織に層状構造が残存し、皮膚表面に平行して走る血管や脂肪層などの影響で皮膚表面に平行な方向と垂直な方向で顕著な電氣的異方性が見られる。

- × a. 血管内に存在する血液は、血管構造により異方性を生じることがあり得るが、採取された物質或いは材料としての血液は巨視的に均質と考えられる。
- × b. 肝のような実質臓器内では血管構造により異方性が生ずる余地は残るが、その影響は少なく、巨視的にはほぼ均質で、異方性が顕著とは言えない。
- c. 動力源である筋が顕著な力学的異方性をもつことはよく知られるが、微視から巨視に至る特異な構造により、電氣的にも異方性が生じる。例えば筋線維の方向とそれに直交する方向での電氣抵抗は、切り出した直後では直交方向が2倍程度大きく、数日の放置による腐敗で、筋構造の崩壊とともに、いずれの方向よりも低い一定値に収束することが知られている。
- d. 皮膚は多くの層構造で作られ、とくに真皮においては脂肪層の上下に血管が走行する組織があり、皮膚表面に平行の方向では電氣抵抗が低く、垂直の方向では高い。
- × e. 肺は空気を含み、電氣的定数が呼吸により大きく変化するが、切り出した組織としては肝と同様な実質臓器の性質を示す。

【問題 26】 ポアズイユの式： $Q = \frac{\pi r^n}{8\mu} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta \ell}$ (ただし、 Q ：血流量、 r ：血管半径、 μ ：血液の粘性率、 $\frac{\Delta P}{\Delta \ell}$ ：流れ方向への圧力勾配)において、 n はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) $\frac{1}{2}$
 2) $\frac{3}{2}$
 3) 2
 4) $\frac{5}{2}$
 5) 4

【正解】 ⑳ = 5)

【解説】 ポアズイユの式は、一般に円管内を粘性流体（正しくはニュートン流体）が層流で流れるときに成立する。流体は粘性により管壁では速度0で、これをノンスリップコンディションという。そして中心部ほど速度が大きくなり、管内の流速分布は管中心に極大を持つ回転放物面になることが極めて簡単な計算で知られ、管中心での流速（極大値）は $r^2/(4\mu) \cdot (\Delta P/\Delta \ell)$ となる。この流速分布を積分すれば流量が求められるが、これは管壁の流速0を含む平面とこの回転放物面で作られる回転放物体の体積に他ならず、この体積は（底面積）×（高さ）/2なので、

$$Q = (\pi r^2) \cdot \{r^2/(4\mu) \cdot (\Delta P/\Delta \ell)\} / 2 = \{(\pi r^4)/(8\mu)\} \cdot (\Delta P/\Delta \ell)$$

とポアズイユの式を導出でき、従って問題の正解 $n = 4$ が得られる。

このように、この問題でポアズイユの式の血流量 Q は単位時間に流れる血液の量である。この式の特徴は、オームの法則と比較して理解するとよいであろう。周知の通り単位時間に流れる電気量を電流 i という。オームの法則では、電位差（電圧）を e 、抵抗を R として、

$$i = e/R$$

ここで、抵抗 R は、円断面導線の抵抗率を ρ 、長さを ℓ 、半径を r とすれば、抵抗率は単位長さ、単位断面積当たりの抵抗であり、かつ抵抗は長さに比例し、断面積に反比例することより、

$$R = \rho \cdot \ell / (\pi r^2)$$

この式を第1の式に代入して、

$$i = (\pi r^2 / \rho) \cdot (e / \ell)$$

が得られる。このオームの法則による式とポアズイユの式を比べてみると、

	オームの法則による式	ポアズイユの式
単位時間の流量	i	Q
印加圧	e	ΔP
長さ	ℓ	$\Delta \ell$
半径	r	r
比例係数	$1/\rho$	$1/(8\mu)$
半径にかかる指数	2	$n (= 4)$

となる。流体でのポアズイユの式と電気でのオームの法則による式では、流量が電流に、圧力差が電位差（電圧）に、長さ、半径はそのまま、比例係数からみて抵抗率は粘性率 $\times 8$ に対応していることが分かる。しかし決定的な相違は半径にかかる指数である。これは、抵抗率によって導体断面全体に一樣に流れを阻止しようとする要素が働く電流の場合と、粘性によって管壁からのみ流れを阻止しようとする要素が働く流体の場合の本質的な違いである。

【問題 27】 脈波伝播速度を増加させる直接的要因はどれか。番号を解答欄

□ 29 □ にマークせよ。[6]

- a. 血管中膜のエラスチン比率の増加
- b. 血管中膜のコラーゲン比率の増加
- c. 血管の収縮
- d. 血流量の増加
- e. 血液ヘマトクリット値の上昇

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 29 = 5)

【解説】 しばしば液体は非圧縮性を示すものとして扱われるが、厳密に非圧縮性の物質は固体も含め存在せず、水も血液もわずかではあるが圧縮性があり、そのために圧の伝搬速度は有限に抑えられる。無限に広がった媒体の中での圧力波（縦波）の伝搬速度は音速 c そのもので、物質の密度 ρ 、圧縮率 β として、

$$c = 1/\sqrt{\rho\beta}$$

で示されるが、管によって閉ざされた中を伝わる圧力波の伝搬速度は、管の直径 d 、管壁の弾性率 E 、管壁の厚さ h にも依存し、アリエビの式、

$$v = 1/\sqrt{1/c^2 + (\rho/E) \cdot (d/h)}$$

で与えられる。ここで弾性率 E が極端に大きいとか、管断面の寸法比 d/h が極端に小さい、つまり非常に肉厚の管の場合には音速にほぼ一致する。他方、これと逆の場合、つまり、 E が極端に小さいとか、 d/h が極端に大きい、つまり非常に肉薄の管の場合には、アリエビの式の平方根の中にある第 2 項が大勢を占め、伝搬速度は音速よりはるかに遅くなる。このとき第 1 項が無視できて、メーンズ・コルテヴェーグの式、

$$v = \sqrt{(E/\rho) \cdot (h/d)}$$

で近似でき、この式は血管内の脈波伝搬速度(pulse wave velocity, PWV)をよ

く表す。なお、この近似式は血管が独立して存在するときに当てはまり、血管周囲の結合組織の影響が無視されており、影響を加味して E や h が修正されるべきである。実際に大動脈における PWV は、加齢に伴う動脈硬化とともに上昇し、10代で 4~5 m/s、40代で 5~7 m/s、70代で 7~10 m/s といわれる。

- × a. エラスチンの増加とともに血管は柔らかくなり E が減少、脈波伝搬速度は減少する。
- b. コラーゲンの増加とともに血管は堅くなり E が増加、脈波伝搬速度は増加する。
- c. 血管が収縮すると d が減少し h/d が増加、脈波伝搬速度は増加する。
- × d. 血管が弛緩すれば血流量が増加するなど結果的な関連に留まる。
- × e. 血液ヘマトクリット値の変化は、密度 ρ の変化に対し殆ど寄与しない。

【問題 28】 図1の電気刺激波形(縦軸：刺激電流値，横軸：時間経過)で神経の電気刺激を行い，感知閾値に対応する刺激電流値 i と刺激時間幅 t の関係を調べたところ，図2の軌跡を得た。この軌跡の曲線は， $i = a + \frac{ab}{t}$ (ただし， a, b ：正の定数) で表せることが分かった。図中の点のうち電気刺激のエネルギー効率が最も良いのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) ①
- 2) ②
- 3) ③
- 4) ④
- 5) ⑤

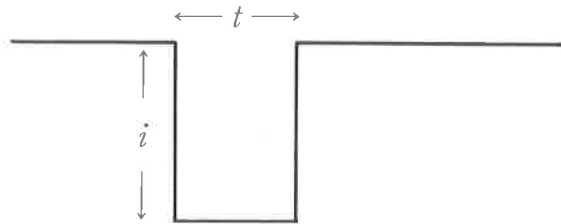


図1

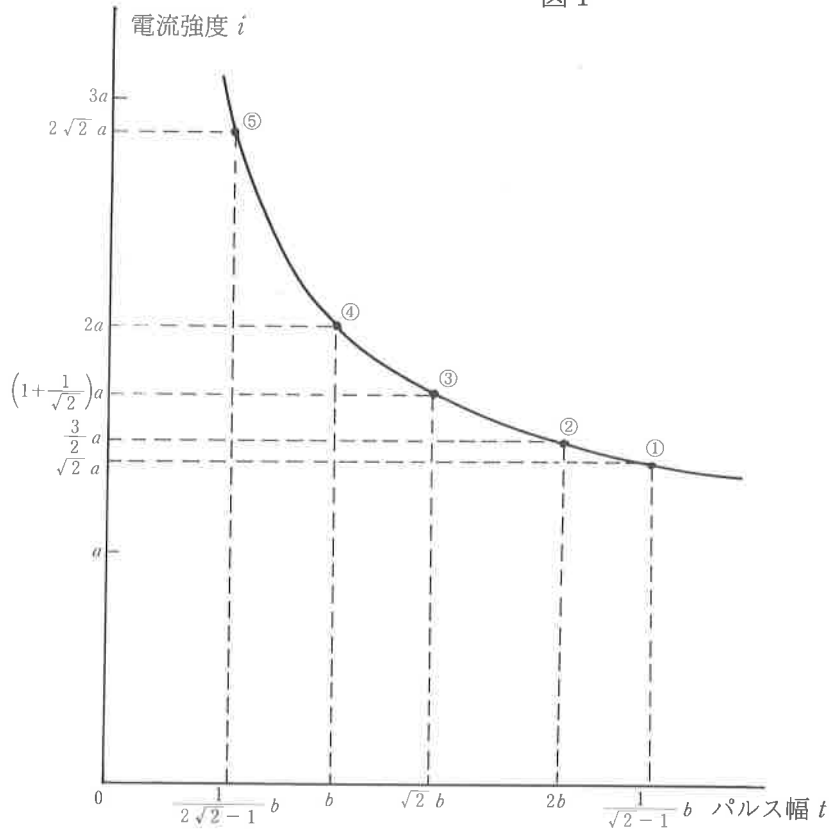


図2

[正解] ⑩ = 4)

[解説] 神経や筋肉などが有する興奮性の細胞膜は、静かな状態で、膜の内側が外側に比べ $-50 \sim -90 \text{ mV}$ に帯電し、静止電位を保っているが、これを外部から人為的に刺激し興奮させるには、静止電位を減じ、脱分極させる方向に向けて人為的に膜電位を修正すればよく、そのためには膜の内部から外部に向けて電流を流し出し、膜電位を強制的に脱分極側に変更させる。膜電位が静止電位 $+10 \text{ mV}$ 程度の臨界脱分極といわれる閾値を超した段階で連鎖反应的に脱分極が進行し、膜の内側が外側に比べ $+40 \text{ mV}$ 程度に至る急速な電位変動、つまり活動電位が生じ、 $1 \sim$ 数 ms 程度の後に再分極相、過分極相を経て再び静止電位に復帰する。この一過性の反応を興奮と称している。この興奮が神経繊維を伝搬することもよく知られるところである。

従って刺激部位の膜の外側が負になる極性で電圧をかけ、刺激電流を印加するのが基本である。このとき、刺激電流として負の方形波パルス電流がよく用いられ、問題中の図1はこの概形を示している。図2はこのような電流波形の刺激電流強度 i と刺激持続時間（電流パルス幅） t を変化させて神経を刺激したときの最小感知の組み合わせを求め、縦軸 i 、横軸 t でプロットしたものである。このグラフは問題中に数式表現があるように、縦軸方向に定数 a だけシフトした双曲線になることが知られている。このとき定数 a を基電流（レオベース）といい、この電流以下ではどんなに長時間刺激を加えても神経が興奮せず、感知しない。従って刺激を長時間加えたときの最小感知電流ということが出来る。

ところで、この曲線上の刺激条件はいずれも感知閾値のものであるが、その刺激に要する電気エネルギー W は、生体組織の抵抗を R として、 $W = i^2 \cdot R \cdot t$ であり、問題中に与えられた i の式を代入すれば、

$$W = (a + ab/t)^2 \cdot R \cdot t$$

となる。刺激エネルギーの効率が最も良いということは、この式が最小値を示す t および i を求めることであるから、微分して式を0と置いて t を、そして与えられた式よりその条件での i を求めればよい。微分して、

$$W' = Ra^2(1 - b^2/t^2)$$

この式を 0 と置けば、

$$t = b \quad (> 0)$$

従って、問題文に与えられた関係式に代入することにより、

$$i = 2a$$

となって、基電流 a の丁度 2 倍の電流で刺激するときがエネルギー効率が最も良いことが知られる。このときの刺激持続時間(通電時間) $t(=b)$ を特にクロナキシーという。

【問題 29】 超音波診断装置の臨床使用環境で、画質を劣化させる生体の超音波特性はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 伝播速度の周波数依存性
- b. 音響インピーダンスの温度依存性
- c. キャビテーションによる組織内気泡発生
- d. エネルギー吸収による熱発生
- e. 組織内での散乱現象

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】③＝4)

【解説】超音波診断装置で画質を劣化させる要因は多数考えられるが、ここでは「臨床使用環境」を問題にしていることに注意してほしい。このことから正解はただちに導かれるであろう。

- a. プロブから発射される超音波はパルス的で、単一の線スペクトルを示すものではなく、複雑な周波数成分をもつ。生体組織内の伝搬速度に周波数依存性があるため、エコーがプロブに戻ってくる時間に周波数成分毎に差ができ、いわゆる位相歪みが生じる。実際はこれに減衰定数の周波数依存性による振幅歪み加わり、さらに波形が変形劣化することになる。
- × b. 減衰定数、音響インピーダンスほか、種々の生体物性に温度依存性が当然、考えられるが、臨床現場での生体組織は体温環境にあり、温度依存性の影響は顕著でない。
- × c. 超音波診断装置に用いられる超音波はキャビテーションによる気泡が生ずるエネルギーレベルよりはるかに低く、その1/100 或いはそれ以下のレベルで使用され、臨床使用環境でキャビテーションが生ずるとは考えにくい。
- × d. 超音波エネルギーにより、生体組織の温度上昇が認められるレベルは確かにキャビテーションの生ずるレベルより1桁程度低いが、それとても診断装置に使用されるエネルギーレベルよりも1桁以上高く、かつ、多少の熱発生があっても血液循環により直ちに運び去られ、生体組織の温度上昇にはつながらない。
- e. 生体組織内の微細構造により複雑な反射屈折散乱があり、伝搬路が単純でなくなり、多数のエコーが重なり合って画像の劣化をきたす。逆に、微細構造に何らかの規則性などの特徴があれば、散乱によって生じる受信信号にもそれに基づく情報が含まれていると考えられ、散乱の影響を含む受信信号の解析から生体組織の特徴を把握しようとする試みも行われている。

【問題 30】 50 MHz の電磁波を、血液、筋肉、脂肪に直接照射したときの透過深度の大きさの順で正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。

[6]

- 1) 筋肉 > 血液 > 脂肪
- 2) 脂肪 > 筋肉 > 血液
- 3) 脂肪 > 血液 > 筋肉
- 4) 血液 > 筋肉 > 脂肪
- 5) 血液 > 脂肪 > 筋肉

【正解】 ③ = 2)

【解説】 透過深度は電磁波が照射された媒質内の電磁界が照射面の $1/e$ まで減衰するに要する距離である。生体組織の電磁波透過深度は周波数に依存し、周波数の上昇とともに透過深度が低下する。ごく大雑把には、VHF 帯以上において透過深度 (cm) \times 周波数 (GHz) = 1~10 の程度といわれる。それ以下の周波数帯では、変化がより緩慢で反比例の関係に至らない。また本問題のように生体組織の種類にも依存し、特に組織の導電性の影響が大きい。周波数 50 MHz 近辺では、血液は導電性の高い容積導体となり、透過深度は 2 cm 以下、筋肉や実質臓器では 2~10 cm、脂肪や骨では特に導電性が低く、10 cm 以上と考えられる。このことより正解は容易に導かれる。

【問題 31】 骨結合性材料として用いられているのはどれか。番号を解答欄

にマークせよ。[6]

- a. ポリエチレン
- b. ハイドロキシアパタイト
- c. ポリカーボネート
- d. バイオガラス
- e. ポリスチレン

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ③ = 6)

【解説】

- × a. ポリエチレン：熱可塑性樹脂の1つで、加熱成形後冷却すると硬くなる。人工関節として利用されているが、骨に化学的に結合してはいない。
- b. ハイドロキシアパタイト：骨や歯の成分であり、骨組織との高い親和性を有する材料で、種々の骨結合性材料として利用されている。
- × c. ポリカーボネート：耐熱性、サイズ安定性、耐衝撃性に優れているほか透明性もあることから、エンジニアプラスチックとして多用されている。医療用としてはダイアライザのハウジングなど硬質材料として利用されている。
- d. バイオガラス：特殊なガラスの1つで生体内に埋植すると周囲組織に造骨を促進する物質が溶出することによって骨組織と化学的に結合する。
- × e. ポリスチレン：成形加工性、耐衝撃性に優れた熱可塑性樹脂の1つで、やはり硬質材料として利用されているが、骨とは直接結合しない。

【問題 32】 生体は材料と接触すると、種々の自己防衛反応を引き起こす。このような生体反応のうち、急性異物反応には補体活性化、血液凝固、血小板凝集などがあるが、慢性異物反応を2つ挙げ、解答欄 に記入せよ。[6]

【正解】 ア=カプセル化，擬内膜形成，石灰化，組織肥厚化，組織吸収など

【解説】

医用材料は生体にとって異物である。材料を生体に埋植すると種々の自己防御反応（生体反応）を引き起こす。この中で、緩やかに慢性的に反応するものとしては、カプセル化，擬内膜形成，石灰化，組織肥厚化，組織吸収などが挙げられる。

【問題 33】 医用材料の滅菌について誤っているのはどれか。番号を解答欄

③4 にマークせよ。[6]

- a. 乾熱滅菌は 160°C で 2~4 時間行われ、その作用機序は酸化作用である。
- b. 高圧蒸気滅菌は滅菌工程に前真空(プレバキューム)を行い効果を高めている。
- c. 低温プラズマ滅菌は水を含む材料でも滅菌可能である。
- d. 紫外線照射滅菌は波長 390 nm の紫外線が使用される。
- e. 放射線照射滅菌はコバルト 60 からの γ 線によって、微生物の核酸へ障害を与える。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】③4 = 8)

【解説】

- a. 乾熱滅菌は高熱の空気を対流させ、160°Cで2～4時間あるいは180～200°Cで30～60分間行われ、その作用機序は酸化作用である。湿熱しにくい油脂、粉末、ガラス器具などに使用される。
- b. 高圧蒸気滅菌は120°Cで20～30分間行われる。それは、プレバキューム→給蒸気→滅菌→排蒸気→乾燥の工程で行われ、プレバキュームによって滅菌効果を高めている。水を含む材料でも滅菌することが可能で、残留物がなく安全である。作用機序は微生物の構成蛋白質の変性である。湿熱できる布、薬液、培地ガラス器具、セラミック、手術用器具などに使用される。
- × c. 低温プラズマ滅菌は、気化した過酸化水素に高周波をかけてプラズマを発生させて滅菌するものである。低温で滅菌することができ、残留物がなく安全であるが水を含む材料は滅菌できない。過熱できない医療用具や湿度を嫌う医療機器などに使用される。
- × d. 紫外線照射滅菌は、微生物のDNAに損傷を与える殺菌灯の波長253.7 nmの紫外線が使用される。手術室など環境空気、クリーンベンチ、手洗い用水の殺菌に使用される。照射の影になる部分には作用しないから注意する必要がある。
- e. 放射線照射滅菌は、コバルト60からの約25 K Gyの強さのγ線によって、微生物のDNAへ障害を与えることによって行われる。

【問題1】 第1種ME技術者(第1種ME技術実力検定試験合格認定者)が病院管理の面で果たすことができる役割を100字以内で解答欄 に記述せよ。

[6]

【正解】 ア=病院管理上不可欠な安全で適切な診療を患者に施すには、診療に用いる医療機器の機能を十分に発揮し、患者と操作者の安全を保つべく、機器の保守・管理が重要であり、第1種ME技術者はこの役割を果たすものである。

【解説】 病院管理は、大きく分けて患者に良質の医療を施すための医療管理と、病院事業の維持・保全のための経営管理がバランスよく行われる必要がある。医療機器・設備については、主として医療管理の立場から、

①必要時に診療用機器の機能が発揮されるとともに、

②患者および操作者の安全が保たれるよう、機器の保守点検と安全管理が重要であり、

この点が第1種ME技術者の最も大きな役割である。

このほか、

③機器・設備などの的確かつ安全な使用を行うための教育・訓練、

④機器購入時における機器評価に基づく購入機種決定のためのスタッフの一員としての役割を果たすこと、

なども第1種ME技術者の役割としてあげられる。

【問題2】 次のうち、誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 医療機器の修理業務は医療法に基づく政令により規定されている。
- b. 医療機器に関する JIS の主務大臣は厚生労働大臣のみである。
- c. 医療機器の故障部品の交換などは保守点検には含まれない。
- d. 機器を点検していないことにより患者に被害が生じた場合、PL 法の適用対象にならない。
- e. 臨床工学技士の医療機器の保守点検業務は名称独占行為にあたる。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] ①= 1)

[解説] 薬事法、医療法および製造物責任（PL）法、臨床工学技士法と医療機器の修理・保守などに関わる問題である。本文におけるそれぞれの事項について、正しいかどうかをしてみる。

- × a. 医療機器の修理に関しては、薬事法により医療用具の修理業が規定されている。
- × b. 日本工業規格（JIS）に関しては、医療用具の規格についての主務大臣は多くの場合、厚生労働大臣であるが、少数の医療用具では主務大臣が経済産業大臣であるものも存在する。
- c. 保守点検とは、清掃、構成（キャリブレーション）、消耗品の交換などをさすものであり、故障の有無にかかわらず、解体の上点検し、必要時に応じて劣化部品の交換などを行うオーバーホールは含まれない。
- d. PL法は、製品の欠陥によって、消費者が生命・身体・財産などに損害を被った場合に、製造者が過失の有無を問わず賠償責任を負うことを定めて法律であるが、医療機器については、もし点検ミス、修理ミス、無点検などによって患者の身体や財産に被害が生じた場合、PL法は適用されない。
- e. 臨床工学技士法では、臨床工学技士の業務として生命維持管理装置の操作と保守点検があげられているが、このうち前者の操作は診療の補助であり、業務独占行為であるが、後者の保守点検は、名称を用いなければ誰でも許される行為、すなわち名称独占行為である。

【問題3】 JIS T 0601-1 では、CF 形装着部の単一故障状態の患者漏れ電流 I の交流許容値は、マイクロショックによる心室細動誘発電流 0.1 mA の $\frac{1}{2}$ の 0.05 mA と定められている。その意味するところを 100 字以内で解答欄 に説明せよ。[6]

【正解】 ① = (例) 安全基準では、1つの故障までは安全でなければならないとしているが、2つの故障が重なった状態で危険になることは容認している。すなわち、単一故障状態の値は危険(限界)値の $1/2$ ということになる。

【解説】

考え方

- a) JIS T 0601-1 で漏れ電流の規制は、単一故障状態まで規定している。
- b) 2つの単一故障が重なること規定には、想定されていない。
- c) よって2つの故障が重なった状態は「危険」と考える。
- d) 許容された単一故障状態が重なると危険になるということは、単一故障状態の値は危険値の $1/2$ ということになる。
- e) マイクロショックによる心室細動誘発電流は 0.1 mA で、これを「危険値」とすると、単一故障状態の値は 0.05 mA となる。
- f) よって、問題文のように「CF 形装着部の単一故障状態の患者漏れ電流 I の交流許容値は、マイクロショックによる心室細動誘発電流 0.1 mA の $1/2$ の 0.05 mA と定められている」のである。
- g) 本問題の解答は、「単一故障では安全」、「2つの故障が重なったら危険」、「単一故障状態値は危険値の $1/2$ 」などのキーワードを用いて説明されていることがポイントである。

【問題 4】 ある医用電気機器の接地漏れ電流が正弦波 500 kHz で 80 mA であることが分かっている。この漏れ電流を安全基準に定められた漏れ電流測定器具 (MD) で測定した場合、いくらと測定されるか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、この周波数以外の漏れ電流はゼロであるとする。[6]

- 1) 8 mA
- 2) 4 mA
- 3) 160 μ A
- 4) 80 μ A
- 5) 8 μ A

【正解】 ② = 3)

【解説】

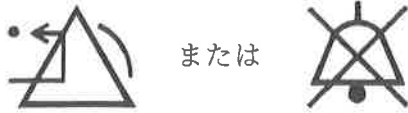
考え方

- a) JIS T 0601-1 で漏れ電流測定用の MD (測定器具) は、RC 高域遮断フィルを持ち、その結果、周波数特性をもっており、1 kHz 以上では、周波数に比例して感度が低下する。
- b) よって、X[kHz] の周波数の漏れ電流は、1/X になって計測される。
- c) これは、JIS T 0601-1 の漏れ電流の許容値は「人体の電撃の周波数特性 (1 kHz 以上では周波数に比例して感電閾値が上昇する) を考慮に入れた許容値」となっていることを測定器の特性として実現したものである。

以上のことより、題意の 500 kHz の漏れ電流は、1/500 に減弱して測定されることになるので、80 mA は 0.16 mA (160 μ A) と測定されることになる。

なお、MD はスイッチを 2 側に倒して、RC フィルタ無しで測定して、その値が 10 mA を超えないことと規定しているので、本問題の機器は、この規定に引っかかって「不合格」となるだろう。

【問題5】 図の図記号がついた警報に関する操作ボタンがあった。これを押すと警報はどうか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]



- 1) 発報している警報音が一時停止する。
- 2) すべての警報設定が無効になる。
- 3) 緊急警報のみを生かして通常警報は発報しないようにする。
- 4) 警報音量が最低になる。
- 5) 一時停止していた警報を再び発報できるようにする。

[正解] ③ = 1)

[解説]

問題文の図の左側が IEC で定めた図記号であるが、我が国でなじみが薄いため、左側のベルマークに×印の図記号も JIS で認めている。

左側の図記号は、それぞれの要素が次の意味を持っている。



は「初期状態への復帰」を意味し、



は「警報」を意味する。（「緊急警報」は弧が2つになる）

この2つを組合せて、「警報を初期状態に戻す＝警報の一時停止」を意味する複合図記号となる。

右側の我が国固有の図記号は、「警報（発報）」を示すベルマークと「禁止・中止」を意味する×印を組合せたもので、やはり「警報の一時停止」を意味する。

- a) JIS T 0601-1 で漏れ電流測定用の MD（測定器具）は、RC 高域遮断フィルを持ち、その結果、周波数特性をもっており、1 kHz 以上では、周波数に比例して感度が低下する。
- b) よって、 X [kHz] の周波数の漏れ電流は、 $1/X$ になって計測される。
- c) これは、JIS T 0601-1 の漏れ電流の許容値は「人体の電撃の周波数特性（1 kHz 以上では周波数に比例して感電閾値が上昇する）を考慮に入れた許容値」となっていることを測定器の特性として実現したものである。

以上のことより、題意の 500 kHz の漏れ電流は、 $1/500$ に減弱して測定されることになるので、80 mA は 0.16 mA (160 μ A) と測定されることになる。

なお、MD はスイッチを2側に倒して、RC フィルタ無しで測定して、その値が 10 mA を超えないことと規定しているので、本問題の機器は、この規定に引っかかって「不合格」となるだろう。

【問題 6】 JIS T 0601-1-1「医用電気システムの安全要求事項」について誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 超音波診断装置と民生品の VTR との組み合わせもシステムに入る。
- 2) 患者環境の規定は JIS T 1022「病院電気設備の安全基準」の規定とは異なる。
- 3) 漏れ電流が小さければクラス 0 I の機器をマルチタップで組み込んでもよい。
- 4) 漏れ電流が多い入出力部分の接続は光結合などで絶縁する。
- 5) 患者環境外の非医用電気機器には JIS T 0601-1「医用電気機器安全通則」と同等の安全性は要求されない。

【正解】 ④ = 1)

【解説】

JIS T 0601-1-1「医用電気システムの安全要求事項」では、次のように定めている。

- 1) 医用電気機器と非医用電気機器との組合せも、この JIS で言う「医用電気システム」の中に入る。
- 2) 患者環境の水平距離は、JIS T 1022 では 2.5 m、JIS T 0601-1-1 では 1.5 m と規定されており明らかに異なる。垂直方向の距離も異なる。
- × 3) クラス 0 I 機器は基本的にはシステムに組み込んでではない。ただし、分離変圧器（二重絶縁または強化絶縁を持っている）を使えば使用してもよいことになっている。
- 4) 規格に合わないような漏れ電流がある機器は「絶縁されたカップリング（光結合や高周波電磁結合など）」で低周波的には分離して結合する。
- 5) 選択肢の説明のとおりである。「患者環境外の非医用電気機器は、該当する JIS、電気用品取締法の技術基準などに適合するか、又はそれらと同等の安全性を備えるものでもよい。」とされている。

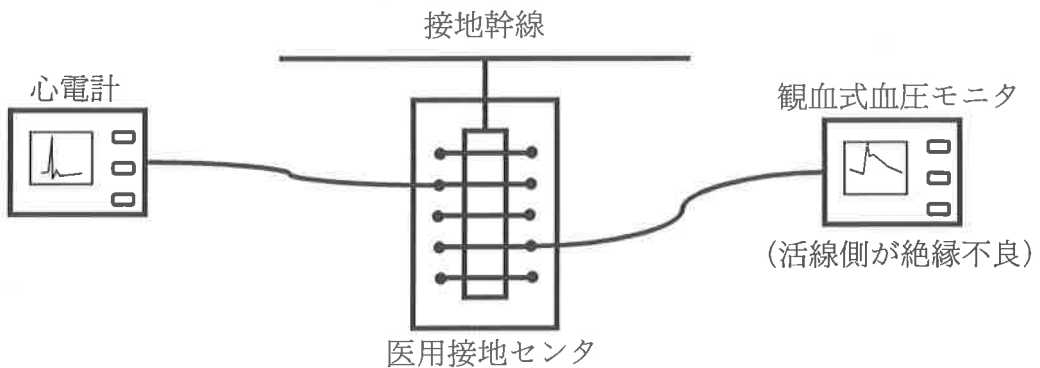
【問題7】 非接地配線方式を行った場合でも、医用接地方式による設備(3Pコンセント)を設けることになっている。その理由を100字以内で解答欄 に記述せよ。[6]

【正解】 以下の1, 2のいずれかが正解である。

1. 非接地配線方式の2次側から1次側への漏れ電流は0.1mA以下に規定されており、マクロショック対策にはなるが、マイクロショック対策にはならないので、3Pコンセントの保護接地による漏れ電流の回収は必要である。
2. 非接地配線方式そのものに絶縁不良が発生して非接地でなくなっても、3Pコンセントの保護接地で漏れ電流を安全に回収することができる。

【解説】 非接地配線方式の“非接地”の意味は片側接地配線方式のニュートラル側(B種接地)を非接地にするのであって、3Pコンセントの保護接地(D種接地)を非接地にするのではない。3Pコンセントの保護接地の必要性は上記の通りである。

【問題 8】 接地配線方式の回路に心電計と観血式血圧計の 2 台の機器が接続されており、それぞれ $0.1\ \Omega$ の保護接地線で医用接地センタに接続している。観血式血圧計の電源回路の活線側(HOT 側)に絶縁不良が認められる場合、マイクロショックによる心室細動を起こす危険性があるのは絶縁不良箇所の絶縁インピーダンスが何 Ω 以下に下がったときか。番号を解答欄 ⑤ にマークせよ。[6]



- 1) 100 2) 1 k 3) 10 k 4) 100 k 5) 1 M

【正解】⑤＝1)

【解説】ME 機器と接地センターを抵抗値 0.1Ω 以下の保護接地線で繋ぐのは、接地センターと機器の導電部間の電位差 10 mV 以下に抑えることによって人体に流れる漏れ電流を $10 \mu\text{A}$ 以下にしてマイクロショックを防止するのが目的である。しかし不良機器の活線側が低インピーダンスで接地に繋がる地絡事故が起きた場合、 0.1Ω の接地線抵抗であっても安全とはいえなくなる。マイクロショックによる心室細動は $100 \mu\text{A}$ で起こる危険性があるが、人体の電氣的インピーダンスを $1 \text{ k}\Omega$ とすると危険となる電位差は式 (1) から 0.1 V となる。

0.1Ω の保護接地線に 0.1 V の電圧が発生するには式 (2) から 1 A の電流が流れる場合になる。 100 V の活線が地絡を起こして 1 A の電流が流れる時は式 (3) から 100Ω 以下のインピーダンスで地絡した場合である。

$$10^{-4}[\text{A}] \times 10^3[\Omega] = 10^{-1}[\text{V}] \quad \dots \dots (1)$$

$$10^{-1}[\text{V}] \div 10^{-1}[\Omega] = 1[\text{A}] \quad \dots \dots (2)$$

$$10^2[\text{V}] \div 1[\text{A}] = 10^2[\Omega] \quad \dots \dots (3)$$

【問題 9】 JIS T 1022「病院電気設備の安全基準」では、建物の建築構造体の地下部分の接地抵抗 $R[\Omega]$ は、 $R=3 \times \frac{0.4\rho}{\sqrt{A}}$ の式で計算してよいことになっている。このことについて誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。

[6]

- a. 式中の数値 3 は、理論値に対する安全係数である。
- b. ρ はコンクリートの抵抗率である。
- c. A は建物地下部分の延べ表面積である。
- d. 接地抵抗は地下部分と同じ表面積をもった立方体電極を仮定して計算されている。
- e. 式中の 0.4 は $\frac{1}{\sqrt{2}\pi}$ の概数である。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
- 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ⑥=6)

【解説】

建築構造体の地下部分の接地抵抗は、地下部分の表面積と同じ表面積を持つ半球電極して計算している。

半径 a の半球電極の接地抵抗 R (広がり抵抗) については次のようなことを理解しておく。

(1) 半径 a の半球電極の広がり抵抗 (接地抵抗) は $R = \rho / (2 \pi a)$

(2) その表面積 A は

$A = 2 \pi a^2$ であるので、半径を表面積で表わすと $a = \sqrt{A/2\pi}$ となる。

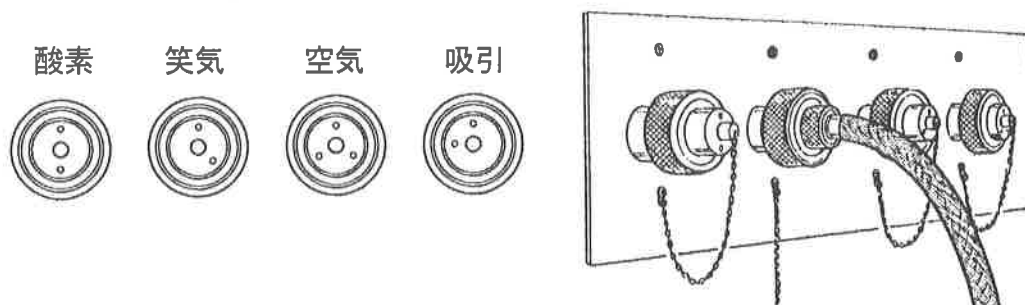
(3) よって、半球電極の接地抵抗は次のように計算される。

$$R = \rho / \sqrt{2 \pi A} = 0.4 \rho / \sqrt{A} \quad \cdots \text{①式}$$

(ここでは、 $1/\sqrt{2\pi} = 0.399$ であるので、これを 0.4 と置いている。)

- a. JIS の式は、上記①式に「数値 3」を掛けたものである。この「3」は、理論値すなわち、地下部分を半球と仮定して計算したことのリスクに対する「安全係数」である。「半球とは仮定できないが、この値の 3 倍になることはまずありえない」という想定である。
- × b. ρ は建物の地下部分の周囲の土壌の抵抗率である。コンクリートは土壌より 1 桁以上抵抗率が低く、コンクリート部分全体は「接地極」と見なされている。
- c. A は建物地下部分の延べ表面積で、これが土壌と接触しているので、この部分が接地極として作用しているから見なしている。
- × d. 上記で説明したように「接地抵抗は地下部分と同じ表面積をもった半球電極を仮定して計算されている」のである。
- e. 上記で説明したように、式中の 0.4 は $1/\sqrt{2\pi}$ の概数である。

【問題 10】 医療ガス配管設備の配管端末器のガス別特定はホースアSEMBリのアダプタプラグのピンの数と角度によって区別している。老朽化でアダプタプラグのピンの1本が抜け落ちた場合にも起こりえない状況はどれか。番号を解答欄 ⑦ にマークせよ。[4]



- 1) 酸素のアダプタプラグの場合は、笑気の配管端末器にも接続できるようになる。
- 2) 酸素のアダプタプラグの場合は、吸引の配管端末器にも接続できるようになる。
- 3) 笑気のアダプタプラグの場合は、空気の配管端末器にも接続できるようになる。
- 4) 空気のアダプタプラグの場合は、笑気の配管端末器にも接続できるようになる。
- 5) 吸引のアダプタプラグの場合は、酸素の配管端末器にも接続できるようになる。

【正解】 ⑦ = 4)

【解説】 配管端末器とホースアッセンプリの接続方法の一つにピンの数と角度によって誤接続を防止するピン方式ある。しかしピンが抜ける故障が起きると空気は1本抜けても2本残っているので空気以外には接続できないが酸素・笑気・吸引は本来ピン数が2本なので1本抜けるとどの配管端末機にも接続できるようになり非常に危険な状態になる。老朽化するとピンが抜けやすくなり、抜けた場合フルプルーフが機能しなくなる。

	酸素	笑気	空気	吸引
ピンの数	2	2	3	2
角度	180°	135°	120°	90°
色	緑	青	黄	黒

【参考】 配管端末器とホースアッセンプリの誤接続を防止する方法にはピン方式以外にホースアッセンプリにガスの種類によって口径の異なるリングを取り付けこのリングが配管端末器側のリング状の溝に合う場合のみ接続できるシュレーダ式がある、このシュレーダ式においても老朽化するとリングが変形し無理をするとは異なる口径にも接続できるようになって危険である。

【問題 11】 人工呼吸器を使用するため、圧縮空気のアダプタプラグを配管端末器に接続しようとしたときに、配管端末器から水分が噴出するのを見つけた。以下の設問に答えよ。

11-1 このような状態を引き起こした原因として正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[3]

- a. 大気中の湿度の異常上昇
- b. リザーバタンクについているドレイン排出弁の閉塞
- c. 除湿装置の故障
- d. 圧縮空気フィルタの目詰まり
- e. 二次圧の異常上昇

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

11-2 このような事態の発生の対策として適切なのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[3]

- a. 人工鼻を使用する。
- b. 人工呼吸器呼吸回路内に除湿装置を設置する。
- c. 加温加湿器の温度を普通より高く設定する。
- d. 圧縮空気の人工呼吸器入力部における水抜き装置を点検する。
- e. 合成空気システムを導入する。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] ⑧ = 5) ⑨ = 10)

[解説]

11-1

- × a. 圧縮空気は大気を圧縮して作るため、大気中の湿度が異常に上昇した場合、当然圧縮空気中に水分が出てくることになるが、通常では除湿装置や水分除去のためのドレーンが備えられていてこれらが正常に動いていれば水分が出てくることはない。
- b. 圧縮空気供給装置には、供給する圧縮空気の圧と流量を安定させるためリザーバタンクが備えられていて、タンク中に貯まった水分を除去するためにドレーンが設けられている。したがってこのドレーンが故障して水分が除去されないと、水分が圧縮空気とともに供給されることになる。
- c. 圧縮空気供給装置には上記のドレーン以外に水分を除去するための装置が備えられているが、これが故障すれば水分が圧縮空気とともに供給されることになる。
- × d. 圧縮空気は大気を圧縮して作られるため、大気中の塵、ゴミ、細菌、花粉等が入り込む可能性がある。これらを除去して清浄な空気を供給するため、圧縮空気供給装置には、フィルタが設けられているが、これらが目詰まりすると圧縮空気の圧と流量が影響を受けるが水分の噴出とは関係がない。なお、JIS T 7101-1997「医療ガス配管設備」では、配管端末器での圧縮空気の品質を下記のように規定している。
 - 酸素濃度：21%(V/V)、油分：0.5 mg/m³ 未満
 - 一酸化炭素：5 ppm(V/V)以下、二酸化炭素：1000 ppm(V/V)以下
 - 水分：配管圧力下で露点 5°C未満、ただしその所在地の年間を通じての月刊平均最低気温がそれ以下の場合には、そこまで露点を下げることが望ましい。同時に水滴はまったくでないこと
- × e. 圧縮空気供給装置には、圧縮空気の供給圧を一定レベルに調整維持するため圧力調整器が備えられている。この圧力調整器の異常で二次圧が影響を受けるが、二次圧の異常上昇と水分の噴出とは関係がない。

11-2

- × a. 人工鼻は吸気ガスを加温加湿するために人工呼吸や麻酔中に呼吸回路に組み込まれて使用されるもので、この設問の事態対策にはならない。
- × b. 呼吸回路内に除湿装置を組み込むと呼吸回路内の水分は除去されるが、この設問の事態は人工呼吸器に入ってくる圧縮空気中に水分が入ったことであるため、事態対策にはならない。
- × c. 加温加湿器は吸気ガスを加温加湿するものであるため、圧縮空気中に水分が噴出したこの設問の事態対策にはならない。
- d. 人工呼吸器に圧縮空気ホースアセンブリが接続されるところには水抜き装置が備えられているが、この中に水分が認められた場合、供給された圧縮空気中に水分が存在することになるため、医療ガス供給設備を担当する部門へ連絡する必要がある。この水抜き装置内に水分が留まっている間は問題ないが、水分が水抜き装置から溢れ人工呼吸器に入り込むと人工呼吸器の停止等の異常が起こり得るため、水抜き装置の日頃の点検は非常に重要である。
- e. 合成空気は、液体酸素からの酸素ガスと液体窒素からの窒素ガスを 22 対 78 の割合で混合して作られた医療用の混合ガスで水分やいろいろな不純物を含まないため、この設問のような事態の発生を防止することができる。

【問題 12】 麻酔器に新しい 3.5ℓ の亜酸化窒素のボンベ(内重量 2.5 kg)を取り付け、麻酔を開始した。次の文章の空欄に当てはまる数値を解答群から選び、番号を解答欄 ～ にマークせよ。ただし、温度は 20°C、気圧は 1 気圧、N と O の原子量はそれぞれ 14 と 16 とする。[2×4=8]

12-1 1 モルの液化亜酸化窒素は ℓ の亜酸化窒素ガスになる。したがって、3.5ℓ の亜酸化窒素のボンベには約 ℓ の亜酸化窒素ガスが存在することになる。

- 1) 3.8 2) 8.8 3) 9.4 4) 22.4 5) 24.0
6) 154 7) 165 8) 1270 9) 1360 10) 2280

12-2 麻酔を開始してボンベ内に液化亜酸化窒素がなくなった時点でのボンベ内の圧力が 52 kgf/cm²(5.1 MPa)であった。このとき、ボンベ内には ℓ の亜酸化窒素ガスが残っていることになり、これは使用開始前の約 に減少したことになる。

- 1) 130 2) 154 3) 182 4) 385 5) 455
6) $\frac{1}{4}$ 7) $\frac{1}{5}$ 8) $\frac{1}{8}$ 9) $\frac{1}{10}$ 10) $\frac{1}{15}$

[正解] ⑩=5) ⑪=9) ⑫=3) ⑬=8)

[解説]

12-1

亜酸化窒素の化学構造式は N_2O であるから、分子量は44である。

1モルの亜酸化窒素は $0^\circ C$ で 22.4ℓ となるが、 $20^\circ C$ に換算すると約 24.0ℓ となる。

この亜酸化窒素ボンベへの内容量は 2.5 kg であるから、ボンベ内には

$$(22.4 \times 2500) / 44 = 1272\ell$$

の亜酸化窒素が存在することになるが、これは $0^\circ C$ の環境下の値である。 $20^\circ C$ に換算すると、 1366ℓ となる。

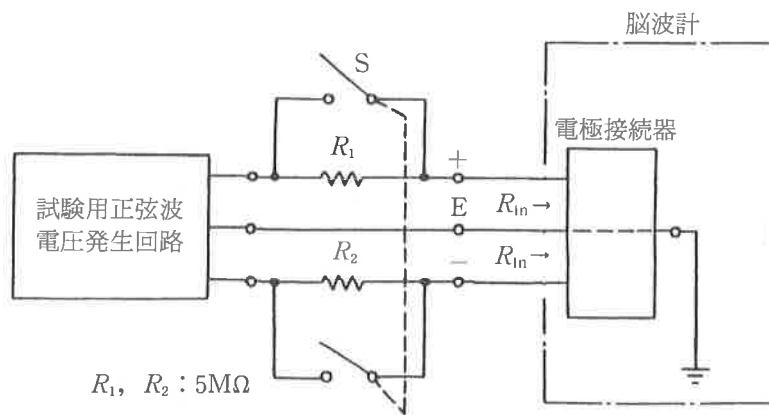
12-2

液化亜酸化窒素がなくなった時点でのボンベ内のガスの量は、ボンベの容量が 3.5ℓ であるから

$$3.5\ell \times 52\text{ kgf/cm}^2 (5.1\text{ MPa} \times 10)\text{ 気圧} = 182(179)\ell$$

となる。使用する前には、ボンベ内に 1366ℓ の亜酸化窒素があったため、液化亜酸化窒素がなくなった時点では、使用開始前の $182(179)/1366$ 、すなわち約 $1/8$ に減少したことになる。

【問題 13】 図の回路で脳波計の入力インピーダンスを測定した。スイッチ S を閉路したときの記録器の振れは 10 mm で、スイッチ S を開路したときの振れは 6 mm であった。この入力インピーダンス R_{in} の値はいくらか。解答欄 に記入せよ。[4]



【正解】 = 7.5 MΩ

【解説】 R_1 (または R_2) と R_{in} の分圧回路と考えればよい。

S が閉路 (ON) の時は、試験用正弦波電圧発生器の出力電圧がそのまま脳波計に入力する。この時の記録器の振れ (D1) が 10 mm を示した。一方、S を開路 (OFF) にした時は、試験用正弦波電圧発生器の出力電圧が R_1 (または R_2) と R_{in} で分圧されて脳波計に入力する。この時の記録器の振れ (D2) は 6 mm を示した。

したがって、D2 は、 $D2 = D1 \times \{R_{in} / (R + R_{in})\}$ となるので、これより、入力インピーダンス R_{in} は、

$$R_{in} = R_1 \times \frac{D2}{D1 - D2} \text{ となる。}$$

これに、それぞれの数値を代入すると、入力インピーダンス R_{in} は、7.5 MΩ となる。

【問題 14】 心電図自動解析装置として適切でないのはどれか。番号を解答欄

⑭ にマークせよ。[4]

- a. 同一患者の心電図を繰り返し解析すると、同じ結果が得られない場合もある。
- b. P 波や Δ (デルタ)波が判定の主要因になる心電図の解析一致率は低い。
- c. 不整脈は 3 秒の記録時間で解析している。
- d. 心電図の判定基準は厚生労働省基準に従っている。
- e. 心電図の III, aV_R , aV_L および aV_F 誘導は演算処理によって得られる。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ⑭ = 8)

【解説】 心電図自動解析装置の使用に際し、注意すべき事項を挙げている。

- a. 同一患者の心電図でも、波高が呼吸等の影響で変化したり、計測値が判定基準（解析基準）の閾値の境界にあると、解析が異なる場合がある。
- b. これらは、コンピュータによるパターン認識（区分点認識）の最も難しい波形で、他の波形に比べて解析精度が低下する。
- × c. 異常がたまに現れるような不整脈または呼吸性の不整脈などの判定には、最低でも 10 秒以上の記録が必要である。
- × d. 心電図の判定基準には、世界的にも標準化されたものはなく、各装置メーカーが専門医と共同で開発したものが使われている。そして、それぞれに特徴があって標準化は難しいと考えられている。したがって、厚生労働省基準も現在存在しない。
- e. デジタル化された心電計では、I, II, $V_1 \sim V_6$ の誘導のみを取り出し、III, aV_R , aV_L , および aV_F 誘導はアイントーベンによる正三角形理論を基にした演算処理によって求めている（講習会テキスト, 164 頁参照）。

【問題 15】 新生児の動脈血ガス分析を行う場合、経皮的に連続測定ができないのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 酸素含量
- b. 酸素分圧
- c. 二酸化炭素分圧
- d. 酸素飽和度
- e. 水素イオン濃度

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】⑮ = 4)

【解説】現在皮膚の上から動脈血ガス分析を連続的に行うことができるのは酸素分圧、二酸化炭素分圧、酸素飽和度である。

- × a. 酸素含量は動脈血中のヘモグロビンと結合している酸素量と血液中に溶解している酸素量の総和であり、含量までは経皮的に測定できない。
- b. 加温機構を備えたクラーク型酸素電極によって、角質層の薄い新生児などを対象に経皮的に酸素分圧を連続測定することができる。この場合加温による低温やけどを防止する意味で、皮膚上に接着した酸素電極を2～3時間おきに接着位置を変えることが必要である。
- c. 酸素分圧と同様に皮膚上に置いた加温機構を備えたセバリング・ハウス電極（二酸化炭素電極）によって動脈血の二酸化炭素分圧を測定することができる。酸素分圧測定とはことなり、若干の誤差はあるが成人にも使用することが可能である。現在一部商品化されているものもある。
- d. 酸素飽和度とは血液中のヘモグロビン総和に対する酸素と結合しているヘモグロビンの割合である。皮膚上から赤色光と赤外光の二波長の光を動脈血に照射することで、これら二波長のオキシヘモグロビンとデオキシヘモグロビンの吸光度の違いを検出することによって、動脈血の1心拍ごとの酸素飽和度を測定することができる。
- × e. 水素イオン濃度はガラス電極によってpHを測定する方法で、現在の所皮膚上より動脈血中のpHを測定できるまでにはいたっていない。

【問題 16】 カテーテル先端の開口部を血流に対向させて血圧を測定した。血流速度が 30 cm/s のとき、測定値に加わった動圧は約何 mmHg となるか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 0.1
- 2) 0.3
- 3) 1.2
- 4) 3.6
- 5) 4.8

【正解】 ⑩ = 2)

【解説】

この問題の場合、まず動圧を計算することができなければならない。

次に数値として計算された動圧がどのような単位で記述されているかを考え、これを解答で要求する mmHg に換算して正解を得る。

動圧は流体の密度を ρ 、速度を v とすると 動圧 $= \rho \cdot v^2 / 2$ で与えられる。ベルヌーイの定理にある圧力の3つの形（静圧、動圧、水頭圧）を思い出してほしい。

理想流体で総圧を P とすると

$$P = p + \rho \cdot v^2 / 2 + \rho \cdot g \cdot h$$

となる。ここで p は静圧、第2項は動圧、第3項は水頭圧であり、 g は重力加速度、 h は水かさである。さて、水の密度 ρ は 1000 kg/m^3 であり、 v は設問から 0.3 m/s である。従って

$$\begin{aligned} \rho \cdot v^2 &= 1000 \times 0.3 \times 0.3 \times 0.5 \text{ [kg/m}^3\text{]} \cdot \text{[m/s]} \cdot \text{[m/s]} \\ &= 45 \text{ [kg/(m} \cdot \text{s}^2\text{)]} \\ &= 45 \text{ [kg} \cdot \text{m/s}^2\text{]}/\text{[m}^2\text{]} \end{aligned}$$

と単位を置き換えると、1つ目の単位 $[\text{kg} \cdot \text{m/s}^2]$ は質量 \times 加速度 = 力なので単位を $[\text{N}]$ で示すことができる。これを2つ目の単位、 $[\text{m}^2]$ で割り算したものが動圧の単位となる。圧力は力 \div 断面積で定義できるので、動圧が圧力の単位をもつ量であることが確認できる。

$$\text{動圧} = 45 \text{ [N/m}^2\text{]} = 45 \text{ [Pa]}$$

が得られた。これを mmH に換算する。 $1 \text{ mmHg} = 133 \text{ Pa}$ を知っていれば $45/133 = 0.34 \text{ [mmHg]}$ が求まる。

【問題 17】 水銀柱と聴診器を使った非観血式血圧測定(間接法)で、最高血圧が高めに測定されてしまうのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[4]

- a. カフの幅が腕の太さに比して広すぎる。
- b. カフ内空気の脱気速度が速すぎる。
- c. カフの巻き方がゆるすぎる。
- d. カフ部が心臓より高い位置にある。
- e. 水銀柱上部の空気フィルタが目詰まりを起こしている。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ⑰ = 9)

【解説】

間接法による血圧測定法の原理を考えれば理解できる。

- × a. カフの幅が腕の太さに比して広すぎる場合は、最高血圧は低めに測定される。
- × b. カフ内空気の脱気速度が速すぎる場合は、最高血圧は低めに測定される。
- c. カフの巻き方がゆるすぎる場合は、カフの幅が通常より狭すぎる場合と同様に高めに測定される。
- × d. カフ部が心臓より高い位置にある場合は、カフ部と心臓との高さの血液柱の重さ分だけ、低めに測定される。
- e. 水銀柱上部の空気フィルタが目詰まりを起こすと、脱気によるカフ圧の低下に水銀柱の低下が追いつかなくなるので、高めに測定される。

【問題 18】 体温測定に用いられるセンサについて誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. サーミスタは、マンガン、コバルト、ニッケルなどの金属粉を混ぜ合わせ高温で焼き固めた合金である。
- b. サーモカップルは外部から常時微弱な電流を流す必要があるが、サーミスタは電流を流す必要はない。
- c. サーモカップルは、たとえば銅とコンスタンタンの異種金属の接触面に生じる起電力の変化を利用している。
- d. サーモカップルに比べサーミスタは直線性が良い。
- e. 熱流補償式体温計は超低体温体外循環時には深部温度の測定ができない。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】⑩ = 6)

【解説】

サーミスタ

温度により抵抗値が変化する素子。特性によってNTC (negative temperature coefficient), PTC (positive temperature coefficient) の2つに分類される。NTCサーミスタは、ニッケル、マンガン、コバルト、鉄などの酸化物を焼結したもので、温度の上昇に対して抵抗値が減少する。温度と抵抗値の変化が比例的。PTCサーミスタはチタン酸バリウムなどからなり、温度の上昇に対して抵抗値が増大する。サーミスタの欠点は、微弱な電流が流れるので漏電によるマイクロショックが起こりうること、サーモカップルに比べると反応が遅いことである。

サーモカップル (熱電対)

熱電能の異なる二種の金属を接合して、二つの接合点を異なる温度にすると熱起電力が生じる現象 (ゼーベック効果) を利用した温度センサである。

熱流補償式体温計

体表面からの熱の放散を見かけ上0にすることにより、体内部から体表面への熱流がなくなり、体表面と体深部が熱平衡状態になる。熱流補償式体温計はこの状態で体表面温度を測ることにより深部温度を得る。外気温の影響が少なく、刺針を用いたりせず非侵襲的に深部温度を測定できる。組織温度が外気温より低いような場合 (超低体温体外循環時など) は原理的に測定ができない。

【問題 19】 熱希釈法による心拍出量の測定について誤っているのはどれか。番号を解答欄(19)にマークせよ。〔6〕

- a. 胸腔内圧に伴い静脈還流が変化すると測定値がばらつく。
- b. 注入速度の不均一は測定誤差の原因になる。
- c. カテーテル先端を肺動脈末梢の方へ挿入しすぎると心拍出量は高くでる。
- d. サーミスタが肺動脈壁に接触していると心拍出量が低くでる。
- e. サーミスタ部分の温度が測定後に血液温に戻らないうちに次の測定をしても誤差を生じない。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 (19)=10)

【解説】

- a. 胸腔内圧の影響により心房の血液充満度が変わると静脈還流が変化し、それに伴い心拍出量も変化するため、測定値がばらつく。
- b. 記述の通り。
- c. 記述の通り。
- × d. サーミスタが肺動脈壁に接触していると得られる曲線の高さが低くなるため、心拍出量は高くでる。
- × e. 繰り返し測定する場合、サーミスタ部分の温度が血液温に戻っていないとモニタ上でベースラインがマイナス側に変位する。この場合心拍出量は高く出る。連続して測定する場合には 30～60 秒程度間隔をあけて測定する。

【問題 20】 呼気炭酸ガスモニタ(カプノメータ)の測定原理について、次の文章の空欄に当てはまる語句、数値を解答群から選び、番号を解答欄 ㉓，
㉔ にマークせよ。[2×2=4]

炭酸ガスは特定の波長の ㉓ を強く吸収する性質をもっており、波長 ㉔ 付近で吸収が強く起き、吸収される量は存在する炭酸ガスの分子の数に比例する。

- 1) マイクロ波 2) 赤外線 3) 可視光線 4) 紫外線 5) X線
6) 0.26 nm 7) 46 nm 8) 0.56 μm 9) 4.26 μm 10) 4.26 mm

【正解】 ㉓ = 2) ㉔ = 9)

【解説】 呼気ガス中の炭酸ガス濃度または分圧を測定する装置の総称をカプノメータというが、一般的には赤外線の吸収特性を利用した装置のみを指すことが多い。測定原理は、炭酸ガスや笑気などの多原子分子が特定の周波数の赤外線を強く吸収する性質を持っていることを利用している。炭酸ガスの場合は4.3 μm 付近での赤外線の吸収が強く、吸収される光量は存在する炭酸ガスの分子数に比例する。

【問題 21】 サーモグラフィについて、次の文章の空欄に当てはまる語句、数値を解答群から選び、番号を解答欄 ②② ～ ②④ にマークせよ。ただし、大動脈圧を 120 mmHg とする。[2×3=6]

サーモグラフィは体表面の温度分布を画像として表す技法である。体表面から放射される電磁波は波長 ②② にピークをもち、その放射エネルギー W と表面温度 T の間にはステファン・ボルツマンの法則が成り立つことが知られている。定数を σ 、放射率を ϵ とすると、 $W =$ ②③ の関係式から放射エネルギー量を計測することによって表面温度 T が得られる。これを利用して温度分布の画像が得られる。電磁波の検出には ②④ のある InSb や HgCdTe が使用されている。

②② の解答群

- 1) $0.1 \mu\text{m}$ 2) $1 \mu\text{m}$ 3) $10 \mu\text{m}$ 4) $100 \mu\text{m}$ 5) $1000 \mu\text{m}$

②③ の解答群

- 1) $\sigma\epsilon T$ 2) $\sigma\epsilon T^2$ 3) $\sigma\epsilon T^4$ 4) $\sigma\epsilon T^{-2}$ 5) $\sigma\epsilon T^{-4}$

②④ の解答群

- 1) 光導電効果 2) 光電流効果 3) 光起電効果
4) 光電子放出効果 5) 光化学反応

[正解] ②= 3) ③= 3) ④= 1)

[解説] 生体表面から放射される電磁波は赤外線であり、それは $10\ \mu\text{m}$ にピークのある波長分布である。その放射エネルギーはステファン・ボルツマンの法則から、定数を σ 放射率を ε とすると $W = \sigma\varepsilon T^4$ の関係があるので、このエネルギーを検出することによって生体表面の温度分布を測定し画像表示することができる。したがって、生体に物質やエネルギーを加える必要はない。

電磁波の検出には光導電効果のある半導体素子 InSb や HgCdTe が多く使用されている。走査方式で体表面温画像を測定温度範囲： $-20\sim+60^\circ\text{C}$ 程度、温度分解能（測定制度）： $0.1\sim 0.01^\circ\text{C}$ 程度で記録・解析している。

生体の炎症を起こしている部位は高温となり、血流状態が悪い部分は低温となるので、温度分布から患部や血流分布を知ることができる。その対象疾患としては、

- ・炎症：表在性急性炎症、関節炎など
- ・血行障害：閉塞性疾患（レイノー病など）、末梢循環障害、熱傷、凍傷など
- ・慢性疼痛：慢性疼痛疾患、内臓関連痛、三叉神経痛、ヘルニアなど
- ・代謝異常：皮膚疾患、皮下組織疾患など
- ・自律神経障害：自律神経疾患、脊椎神経疾患など
- ・腫瘍：乳房腫瘍、皮膚腫瘍、骨肉腫、甲状腺腫瘍、その他表在性腫瘍などがある。

使用上の注意としては、サーモグラフィに検知される赤外線は太陽光や暖房設備など、周囲の環境にも多く存在するのでこれらが誤差要因にならないように注意する必要がある。また、着衣や発汗、化粧なども影響するので、被検者は脱衣後十分な時間をおいて検査をはじめるとの注意が必要である。

【問題 22】 輸液ポンプやシリンジポンプによりドパミンを投与中、設定値よりも大量のドパミンが投与されていることが分かった。原因として考えられるのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 気泡混入
- b. 溶血
- c. サイフォニング
- d. フリーフロー
- e. 内蔵電池の電池切れ

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] ㉕ = 8)

[解説]

- × a. 輸液ポンプやシリンジポンプでは、気泡が回路内に存在すると、警報を発生して機器が停止するため、この設問にある大量投与は起こり得ない。
- × b. 溶血が起こっても輸液ポンプやシリンジポンプの働きとは直接関係なく、また溶血により大量投与も起こらないため、この設問のような事態の原因とは考えられない。
- c. サイフォニングは患者ライン先端部（静脈内留置針先端部）とシリンジとの圧力差で発生する、機器（シリンジポンプ）の制御を受けない意図しない流れを言う。シリンジポンプへのシリンジの不適切な装着で起こり、この設問のように大量の薬液が投与される危険性があるため注意する必要がある。
- d. フリーフローは機器（輸液ポンプ）の制御を受けない輸液セット内を薬液の流れを言う。輸液ポンプから輸液セットを外したとき、あるいは輸液ポンプへの輸液セットの不適切な装着時に、重力の影響による意図しない薬液量が投与されることがあるため注意する必要がある。
- × e. 内蔵電池が切れれば輸液ポンプやシリンジポンプは停止するため、本設問のような事態の原因と考えにくい。

【問題 23】 IABP 用バルーンカテーテルの細径化が進んでいるが、この場合、どのような問題が発生しうるか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. カテーテル挿入部末梢の血流障害
- b. 徐脈におけるポンピング追従性の低下
- c. 不整脈・頻脈におけるポンピング追従性の低下
- d. 動脈圧波形のオーバードンピング
- e. 動脈圧波形のアンダードンピング

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ②⑥ = 8)

【解説】 IABP 用バルーンカテーテルをより挿入しやすくするために、その細径化が進んでいる。しかし、一般的な IABP 用バルーンカテーテルは使用ガス用ルーメンならびに血圧測定用ルーメンのダブルルーメン（2重内腔）構造をしているので、カテーテル径を細くすることは使用ガスラインならびに血圧測定用ラインを細くすることになり、時間的に変化する圧力伝達に支障をきたす可能性がある。

- × a. カテーテル挿入部末梢の血流障害は細径化によりむしろ改善される可能性がある。
- × b. 徐脈の場合は時間的変化が遅いので、ポンピング追従性の問題は少ない。
- c. 不整脈・頻脈の場合は時間的変化が速いので、使用ガスラインが細くなることでポンピング追従性が低下する。
- d. 血圧測定用ラインが細くなることで時間的に変化する動脈圧波形は一般的にオーバードンピング（平坦化）され、タイミング設定や動脈圧トリガに支障をきたす可能性がある。
- × e. 動脈圧波形はアンダードンピング（先鋭化）ではなくオーバードンピングされる。

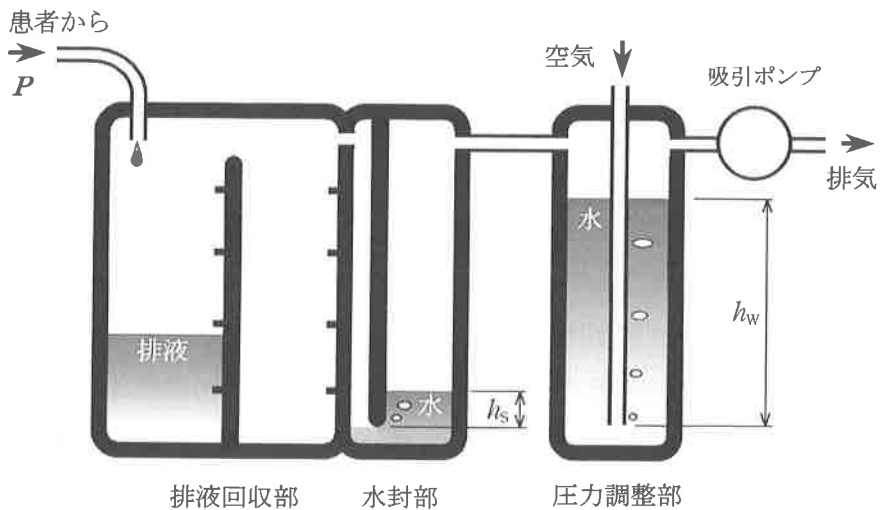
【問題 24】 次の文章の空欄について、解答欄 ， には当てはまる語句，数式を解答群から選び，番号をマークし，解答欄 ， には数値を記入せよ。[2×2=4 3×2=6]

図に低圧持続吸引器の構造を示す。陰圧の大きさは圧力調整部の水の深さ h_w で調節する。吸引ポンプがこの水柱以上の陰圧を発生させても、 が圧力調整部に引き込まれて、陰圧を打ち消してしまうので、圧力調整部の中は水柱 h_w 分の陰圧で安定する。

安定化された陰圧は水封部にかかる。水封部は、胸腔内等の陰圧により排液が患者側へ引き込まれたときに水位が上昇することにより吸引器側へ引き戻したり、外気の混入を防ぐ働きを担っている。したがって、患者に作用する陰圧 P は、水封部の水の高さを h_s すると、

$$P = \text{} [\text{cmH}_2\text{O}]$$

と表される。ここで、 $h_w = 21 \text{ cm}$ ， $h_s = 3 \text{ cm}$ とすると、 P は cmH_2O となる。この圧力を SI 単位に換算するには、係数 をかけることにより Pa で表すことができる。



- 1) 排液 2) 水 3) 空気 4) $h_w + h_s$ 5) $h_w - h_s$

[正解] ㉗=3) ㉘=5) ㉙=18 ㉚=98

[解説] この問題は空欄に正解を当てはめると、そのまま低圧持続吸引器の動作原理の説明になっている。㉚の換算係数は1 cm 水中に相当する圧力を求めればよく、

$$P = \rho gh \text{ より, } 1 \times 10^3 [\text{kg/m}^3] \times 9.8 [\text{m/s}^2] \times 1 \times 10^{-2} [\text{m}] = 98 [\text{Pa}]$$

から、1 cmH₂O → 98 Pa と換算できる。

【問題 25】 図に示すような中空糸型ダイアライザに患者血液が流量 200 ml/min で流れている。中空糸1本の内径が $200 \mu\text{m}$ 、長さが 200 mm で、 10000 本の中空糸からなるとして、以下の設問に答えよ。

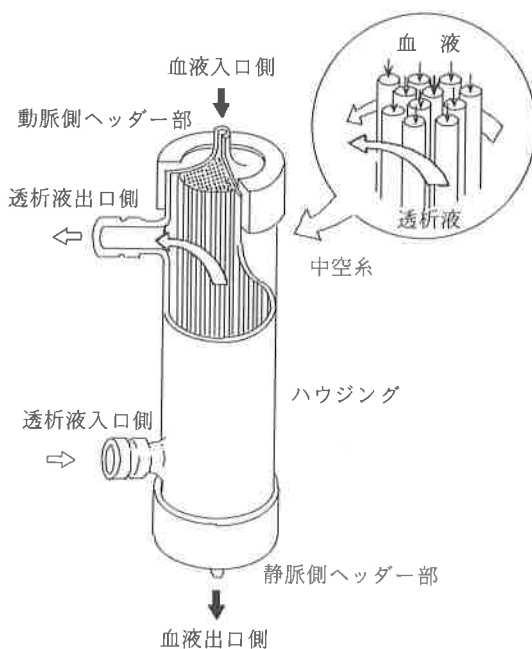


図 中空糸型ダイアライザ

25-1 ダイアライザ内の血液充填量は何 ml か。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 0.003 2) 0.006 3) 10.0 4) 31.4 5) 62.8

25-2 このダイアライザを通過する血液の平均滞留時間は何 s か。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 0.0019 2) 3.18 3) 9.42 4) 18.8 5) 31.8

25-3 このダイアライザを流れる血液の平均線速度は何 ms^{-1} か。番号を解答欄

㉓ にマークせよ。[2]

- 1) 0.0106 2) 0.603 3) 1.06 4) 1.66 5) 94

25-4 このダイアライザを流れる血液のレイノルズ数はいくらか。番号を解答欄

㉔ にマークせよ。ただし、血液の密度および粘度を、それぞれ 1050 kgm^{-3} , $5.3 \text{ cP}(=0.0053 \text{ Pa}\cdot\text{s})$ とする。[2]

- 1) 0.42 2) 32.8 3) 420 4) 2100 5) 4200

【正解】 ㉒ = 5) ㉓ = 4) ㉔ = 1) ㉕ = 1)

【解説】

25-1

中空糸内径(D)が $200 \mu\text{m}$, 長さ(L)が 200 mm で、本数(n)が $10,000$ 本であるので、ダイアライザ内の血液充填量 V は以下のようにして求まる。

$$\begin{aligned} V &= n\pi (D/2)^2 L = 10000 \times 3.14 \times (200 \times 10^{-6}/2)^2 \times (200/1000) \\ &= 0.628 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 62.8 \text{ ml} \end{aligned}$$

25-2

血流量を Q とおくと、平均滞留時間 T は V/Q に等しい。

$$T = V/Q = 62.8/200 = 0.314 \text{ min} = 18.8 \text{ s}$$

25-3

血液の平均線速度(u)は L/T に等しい。

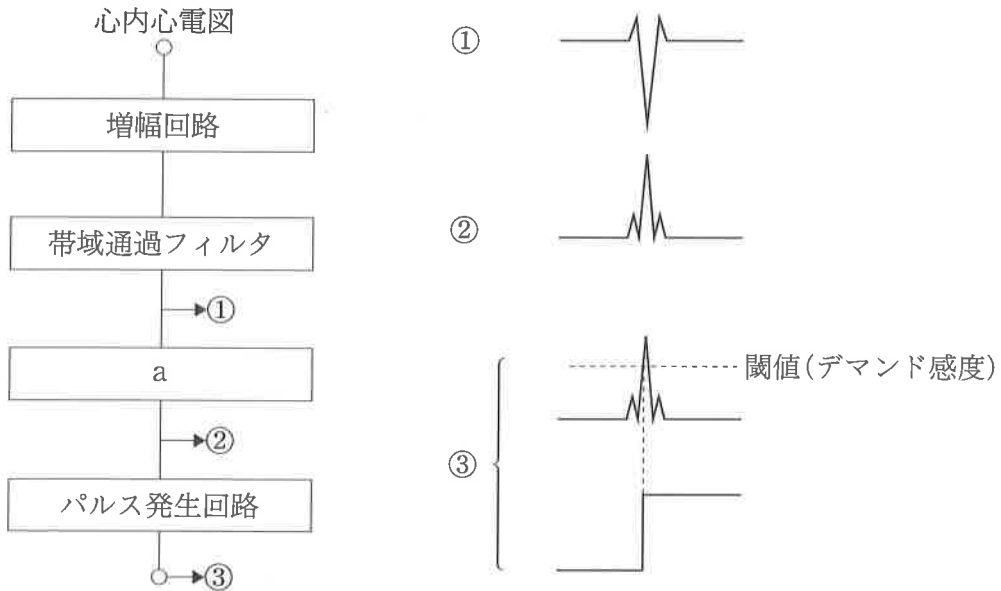
$$u = L/T = (200/1000)/18.8 = 0.0106 \text{ ms}^{-1}$$

25-4

血液の密度および粘度をそれぞれ ρ , μ とすると、レイノルズ数(Re)は $Du\rho/\mu$ と定義されるので、次式より求まる。

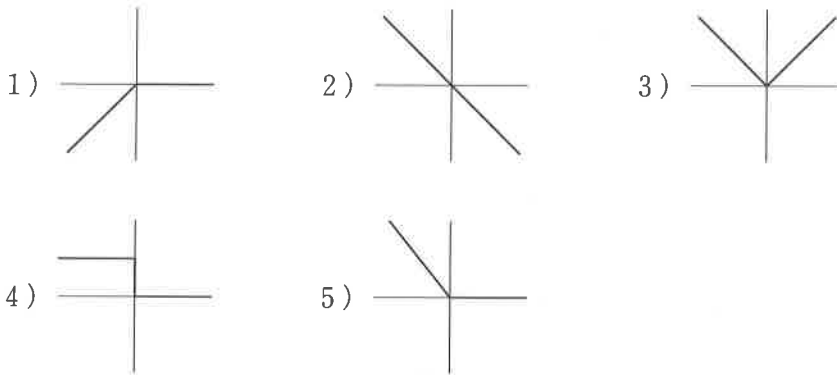
$$\text{Re} = Du\rho/\mu = (200 \times 10^{-6}) \times 0.0106 \times 1050 / 0.0053 = 0.42$$

【問題 26】 下図は、心臓ペースメーカのデマンド感度調整機構のブロック図と各部の QRS 波の模式波形を示す。以下の設問に答えよ。



26-1 a の回路の名称は何か。解答欄 に記入せよ。[3]

26-2 a の回路の入・出力特性はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。
ただし、各特性図の横軸は入力電圧を、縦軸は出力電圧を表し、いずれも等しい感度である。[3]



【正解】 ㉔=全波（両波）整流回路，または絶対値回路 ㉓=3）

【解説】

26-1

デマンド型ペースメーカーのデマンド感度調整回路は心内心電図のQRS波の振幅が設定されたデマンド感度を越えたときにパルスを発生するが、QRS波には陽性波ばかりでなく陰性波も存在するので陰性波は極性を反転させておかなければならない。すなわち、QRS波の絶対値をとる回路が必要である。そこで、設問のブロック図のように心内心電図を検出・増幅後、帯域通過フィルタを通してQRS波成分を検出し、この信号を全波（両波）整流回路（絶対値回路）に送りQRS波の極性を全て正にする。次いでパルス発生回路において電圧が一定のレベル（デマンド感度）を越えた時点でパルスが発生され、自発心拍の存在が確定される。

26-2

特性図において、入力電圧が正のときはそのまま出力し、負のときは極性を正に反転して出力する入・出力関係がaの回路（全波整流回路）を表す。

【備考】

26-1のパルス発生（自発心拍検出）によってペーシングは抑制されると同時に不応期が設けられ、不応期の間はいかなるパルスも受け付けずT波や筋電図などによる誤動作（オーバーセンシング）を防いでいる。また、この検知パルスから設定レート後（レートに対応する周期後）にペーシングパルスが発生されるはずであるが、自発心拍を検出した直後に限り周期を少し延長して自発心拍を優先する機構が組み込まれている。この機能をヒステリシスという。

【問題 27】 人工心肺装置を使用する際に用いられないのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. カーディオプレギア (cardioplegia) 装置
- b. 冷温水循環装置
- c. ハイパーサーミア装置
- d. ベネディクト・ロス型スパイロメータ
- e. 血液凝固時間 (ACT) 測定装置

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 ③④ = 8)

【解説】

- a. カーディオプレギア (cardioplegia) 装置は、心筋の保護を目的として、心停止液や心筋保護液の注入、心筋温の調節を行う装置で、人工心肺装置とともに使用される。
- b. 冷温水循環装置は、体温のコントロールを目的としており、人工心肺回路に組み込まれている熱交換器に接続して、温度を調節した水を循環させるための装置で、人工心肺装置とともに使用される。
- × c. ハイパーサーミア装置は、ガン治療に用いられる装置で、現時点では大型で、治療目的も異なるので、人工心肺装置とともに使用されることはない。
- × d. ベネディクト・ロス型スパイロメータは、肺の換気機能を検査するため、気量を測定する装置で、人工心肺装置とともに使用することは出来ない。
- e. 血液凝固時間 (ACT) 測定装置は、血液の凝固しにくさを評価するための測定装置で、ヘパリン投与量のコントロールを目的に、人工心肺装置による体外循環開始前や体外循環中に用いられる。

【備考】

【選択問題1】 人工呼吸器使用時に見られるトラブルとその原因との組み合わせについて正しいのはどれか。番号を解答欄(選1)にマークせよ。[6]

- a. 圧縮空気供給圧の異常低下 ————— 圧縮空気供給装置内フィルタの目詰まり
- b. 圧縮空気配管から人工呼吸器への水分混入 — マニフォールド内除湿装置の故障
- c. 気道内圧異常低下による低換気 ————— 呼気弁の持続的閉鎖
- d. 吸気酸素濃度異常上昇 ————— 酸素ブレンダの故障
- e. 粘稠で吸引困難な喀痰の増加 ————— ウォータトラップ内への水分貯留

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 (選1) = 3)

【解説】

- a. 圧縮空気供給装置には、圧縮空気内の塵、ゴミ等の異物を除去するためにフィルタが設けられているが、これが異物で目詰まりを起こすと圧縮空気供給圧の低下を引き起こす。フィルタが異物で完全に目詰まりすればガスの供給がストップするため配管端末器での供給圧はゼロとなる。フィルタが不完全に目詰まりすると、配管端末器での静止圧は正常であるが、人工呼吸器などで大流量の空気が必要なときには目詰まりしたフィルタから十分な空気が供給されず、この設問のような供給圧の異常低下が起こる。
- × b. マニフォールドは複数の高圧ガス容器を集めて一本にまとめて供給する装置で、医療施設で医療ガス配管設備を介して酸素、亜酸化窒素などを供給する際の医療ガスの供給源として用いられる。マニフォールドには除湿装置はなく、圧縮空気配管内への水分混入とは関係ない。
- × c. 気道内圧の異常低下は、換気量の不足、呼吸回路の脱落または亀裂、呼気弁異常（持続的開放）、気管チューブのカフ漏れ、人工呼吸器の故障等で起こる。呼気弁の持続的閉鎖では呼気ガスが呼出されなくなるため、回路内圧の異常上昇が起こり、放置すると圧外傷や循環抑制を起こすため注意する必要がある。
- d. 人工呼吸等では吸気ガスの酸素濃度を調節するために酸素ブレンダが用いられる。酸素ブレンダでは、ダイアフラムを用いて酸素と空気の圧を調整しているため、ダイアフラムの破損等の故障が起こると吸気酸素濃度の異常が起こる可能性があるため、定期的な点検が必要である。
- × e. ウォータトラップ内に水分が貯留していることは吸気ガスの加湿が過剰に行われていることを示す。通常、吸気ガスが適切に行われていれば喀痰は吸引しやすいが、加湿が不十分な場合は喀痰が粘稠になり吸引しにくくなる。加湿が過剰な場合は、喀痰が増加するが、その場合の喀痰は非粘稠性で吸引しやすい。

【選択問題 2】 ICU で使用しているすべての人工呼吸器において、設定濃度以上の高濃度酸素が出て、吸気酸素濃度を下げることができないとの報告があった。原因として考えられるのはどれか。番号を解答欄(選2)にマークせよ。[6]

- a. 人工呼吸器に使用されている酸素ブレンダ内のダイヤフラムの劣化による亀裂
- b. 圧縮空気の供給圧が酸素のそれより異常に高い
- c. 人工呼吸器の圧縮空気入力部にある逆流防止弁の故障
- d. 圧縮空気供給装置に備えられているフィルタの目詰まり
- e. 人工呼吸器内蔵の酸素濃度計の故障

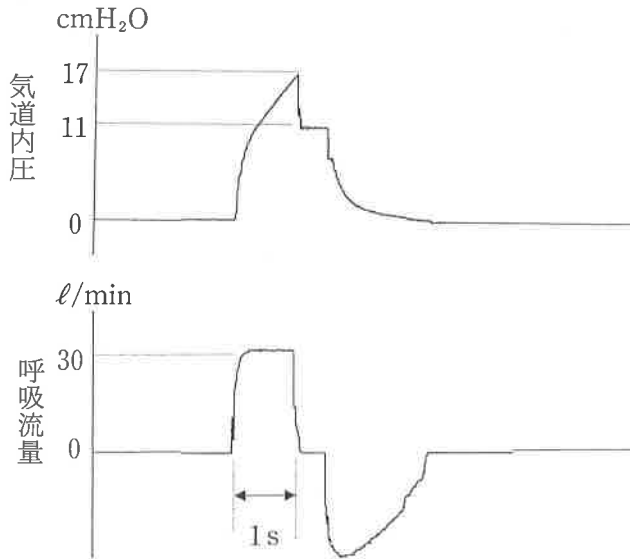
- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
- 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] (選2) = 2)

[解説]

- a. 酸素ブレンダでは吸気ガスの酸素濃度を調整しているが、中に用いられているダイアフラムの劣化により酸素がダイアフラム部を介して空気配管に混入し、吸気酸素濃度を異常に上昇させることがあるため、酸素ブレンダは定期的に点検されなければならない。
- × b. JIS T 7101-1997「医療ガス配管設備」により、酸素の供給圧は空気や亜酸化窒素のそれより約 29.4 kPa (約 0.3 kgf/cm²) より高いことと規定されているため、この選択肢のような状態は通常考えられない。もし、この選択肢のようなことが起こった場合には、圧縮空気の圧が酸素より高いため、圧縮空気が酸素配管に入り込むため、この設問のような事態は起こり得ない。
- c. 上で述べたように、酸素の供給圧は空気より高いため、人工呼吸器の圧縮空気入力部にある逆流防止弁が故障すると、酸素が圧縮空気配管部に逆流し、この設問のような事態が起こり得る。
- × d. 圧縮空気供給装置のフィルタが目詰まりを起こした場合、人工呼吸器から送られる吸気ガスの酸素濃度が異常に上昇することは考えられない。
- × e. 人工呼吸器内蔵の酸素濃度計が故障した場合正しい酸素濃度を示さなくなるため、設問のような事態が起こり得るが、ICU で使用中のすべての人工呼吸器内蔵の酸素濃度計が故障することは考えにくいいため、この選択肢は正しくない。

【選択問題 3】 従量式人工呼吸器使用中の気道内圧波形および呼吸流量波形を示す。この波形より静的コンプライアンスは何 $\ell/\text{cmH}_2\text{O}$ か。番号を解答欄 **選3** にマークせよ。[6]



- 1) 0.015 2) 0.029 3) 0.037 4) 0.045 5) 0.074
 6) 0.083 7) 0.29 8) 1.8 9) 2.7 10) 5.0

【正解】 **選3** = 4)

【解説】

静的コンプライアンス，動的コンプライアンスの定義は次のとおり。

静的コンプライアンス = 1回換気量 ÷ 気道内圧のプラトー圧

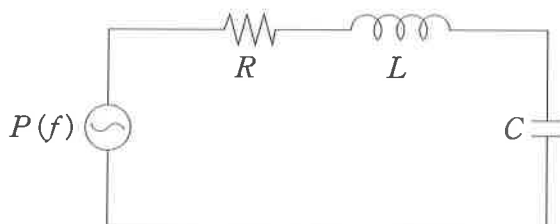
動的コンプライアンス = 1回換気量 ÷ 最高気道内圧

したがって，図の波形より1回換気量は（流量波形より $30\ell/\text{min}$ で1sの吸気流であるので）

$$\begin{aligned} 1 \text{ 回換気量} &= \text{流量} \times \text{時間} \\ &= 0.5(\ell/\text{s}) \times 1(\text{s}) \\ &= 0.5\ell \\ 0.5(\ell) \div 11(\text{cmH}_2\text{O}) &\div 0.045(\ell/\text{cmH}_2\text{O}) \end{aligned}$$

【選択問題 4】 下図は加周波振動法(forced oscillation 法)による呼吸抵抗を求める場合の等価回路である。誤っているのはどれか。番号を解答欄 **選4** にマークせよ。ただし、 R 、 L 、 C はそれぞれ粘性成分、慣性成分、弾性成分である。[6]

- a. 正常者の共振周波数は 200 Hz 付近にある。
- b. 呼吸インピーダンスが最小になる値は粘性抵抗と一致する。
- c. 臨床的には 50 Hz に固定して呼吸インピーダンスを求めている。
- d. 加周波振動周期が共振周期であるとき呼吸インピーダンスは R に等しい。
- e. R には肺組織抵抗と気道抵抗が含まれる。



- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
- 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] (選4) = 2)

[解説] 加周波振動法は図のように粘性抵抗 R 、慣性抵抗 L 、弾性抵抗 C の直列回路による呼吸インピーダンス Z に周波数 f をもつ交流電源 $P(f)$ を接続した形の電氣的等価回路として描くことができる。従って $Z = R + j(\omega L - 1/\omega C)$ と書くことができる。この場合 $\omega L = 1/\omega C$ となるような呼吸周波数 f をこの回路の共振周波数という。正常者ではこの共振周波数は 6~8 Hz 付近にある。したがって f がこの共振周波数であるとき $Z = R$ となり呼吸インピーダンスは最小になる。実際の患者では正常者と異なり呼吸周波数を共振周波数までもって来ることが難しい場合が多い（共振点を求めることが難しい）ため、通常は呼吸周波数を 3 または 4 Hz で固定して、これらの周波数における呼吸インピーダンスとして求めている。共振点が求まったときの粘性抵抗 R は肺の組織抵抗と気道抵抗の和で示すことができる。

【選択問題 5】 血液透析施行時の監視項目とその検出法との組み合わせで誤っているのはどれか。番号を解答欄(選5)にマークせよ。[6]

- a. 透析液温度 —— 放射温度計
- b. 気泡混入 —— 超音波
- c. 除水 —— 複式ポンプ(ダブルチャンバ)
- d. 漏血 —— 吸光度計(シアンメトヘモグロビン法)
- e. 透析液濃度 —— 電気伝導度計

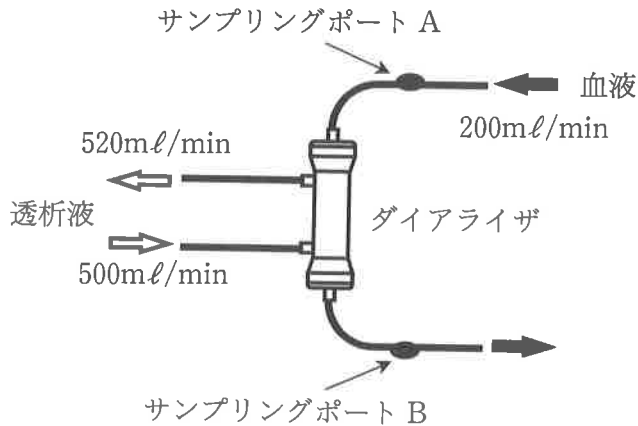
- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
- 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 (選5) = 3)

【解説】

- × a. 透析液温度：透析液の温度は透析膜を介して間接的に血液の温度に影響を及ぼす。温度制御部では ON-OFF 制御法または比例制御法によって透析液温度を制御している。温度センサには通常サーミスタが用いられる。
- b. 気泡混入：気泡検出器には通常超音波センサが用いられる。すなわち空気が回路内血液中を通過すると音響インピーダンスが大きく減衰することを利用して検知する。
- c. 除水：除水制御方式として密閉型容量制御方式と膜間圧力差 (TMP) 制御方式があり、前者にはダブル隔膜容量槽 (チャンバ) 方式、複式ポンプ方式、粘性液体制御方式 (ビスカスコントロール方式) などがある。
- × d. 漏血：漏血検知器はダイアラライザの膜破損 (リーク) により透析液へ漏出する血液を、透析液出口側で光透過度の減衰を測定することにより検出する機器である。現在、発光ダイオードとホトトランジスタで構成する透過型が広く利用されている。
- e. 透析液濃度：多成分溶液である透析液の濃度を監視する方法としては、電気伝導度、浸透圧、各種電解質濃度の測定などが考えられるが、簡便で連続的に測定できる、電気伝導度で通常監視する。これは透析液濃度異常が、組成異常ではなく希釈混合比のずれに起因するためである。

【選択問題 6】 図に示す条件で透析療法が実施されている。いま、サンプリングポート A から採血した血液の BUN 濃度は 50 mg/dl であり、サンプリングポート B から採血した血液の BUN 濃度は 10 mg/dl であった。このとき、ダイアライザの尿素クリアランスは何 ml/min か。番号を解答欄 **選6** にマークせよ。ただし、限外濾過量を考慮すること。[6]



- 1) 120 2) 123 3) 143 4) 160 5) 164

【正解】 (選6) = 5)

【解説】 ダイアライザの溶質除去性能を表す指標としてクリアランスが用いられる。これは溶質がダイアライザによりどれだけ除去されたかを示すものと考えられる。実験では限外濾過量をゼロに設定して行う場合が多いが、実際の血液透析のように限外濾過量を無視できない場合、クリアランスは

$$C_L = \frac{Q_{BI}C_{BI} - Q_{BO}C_{BO}}{C_{BI}} \quad \left\{ \begin{array}{l} C_L : \text{クリアランス} [\text{m}\ell/\text{min}] \\ C_{BI} : \text{血液入口側溶質濃度} [\text{mg}/\text{d}\ell] \\ C_{BO} : \text{血液出口側溶質濃度} [\text{mg}/\text{d}\ell] \\ Q_{BI} : \text{血液入口流量} [\text{m}\ell/\text{min}] \\ Q_{BO} : \text{血液出口流量} [\text{m}\ell/\text{min}] \end{array} \right.$$

と定義される。

問題では、透析液出口流量が入口流量よりも 20 mℓ増加しており、これが限外濾過量 Q_F に相当する。従って、血液出口流量 $Q_{BO} = 200 - 20 = 180 [\text{m}\ell/\text{min}]$ となるので、値を上の式に代入すると

$$C_L = \frac{200 \times 50 - 180 \times 10}{50} = 164 [\text{m}\ell/\text{min}]$$

となる。

【選択問題7】 血液透析療法において、目的として適切でないのはどれか。番号を解答欄(選7)にマークせよ。[6]

- a. 蛋白代謝産物の除去
- b. アルブミンの除去
- c. 代謝性アシドーシスの改善
- d. 血清電解質濃度の調整
- e. 体温の調整

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】(選7) = 7)

【解説】

透析治療は、透析器であるダイアライザに体外循環させている血液を通過させて、ダイアライザを構成する半透性の膜を介して透析液と接触することで、腎臓の機能を代行、補助することを目的としている。実際の人間の腎臓にあたる部分は透析器であり、透析装置はこの透析器を使用するために、必要な処理や監視を行うものである。人間の腎臓には、大きくみて次の3つの機能がある。

- ① 蛋白代謝産物の除去
- ② 水・電解質バランスの是正
- ③ ホルモンの分泌

アルブミンを漏出する膜を用いて HDF などの濾過型人工腎による治療をおこなうと、血清アルブミン濃度の低下し高脂血症が発現する場合がある。血清アルブミン濃度も高脂血症も出現しないアルブミン除去量の上限は、週3回、HDFをおこなう場合、1回治療あたり3.5g程度である。

【選択問題 8】 人工腎臓について誤っているのはどれか。番号を解答欄 **選 8** にマークせよ。[6]

- a. 中空糸(ホローファイバ)型が主に用いられている。
- b. 透析膜にはポリウレタンが使われる。
- c. 血液と透析液の濃度差で物質が移動する。
- d. 循環血液量と等量の透析液を使用する。
- e. 血中の不要成分のほかに水分も除去される。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 **選 8** = 6)

【解説】

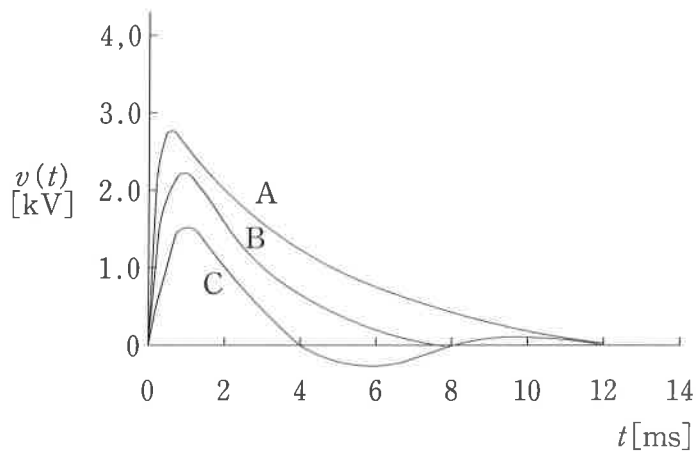
透析器であるダイアライザは半透性の膜を介して血液と透析液が接触し、水・電解質バランスの是正が行われる。

一般的には、透析液は 500 ml/min 程度で血液は 200 ml/min が使用される。

また、ダイアライザは積層型がごく一部で使用されるが、透析効率や操作性の面で中空糸型が主流をなしている。

【選択問題 9】 下図は、除細動器の設定エネルギーを一定にし、負荷抵抗 R を 25Ω , 50Ω , 100Ω に取り替えて測定したときの出力電圧波形 $v(t)$ である。誤っているのはどれか。番号を解答欄 **選 9** にマークせよ。[6]

- a. 波形 A は $R=100 \Omega$ のときの出力波形である。
- b. 波形 C の陰性部分は放電回路の系が不足制動であることを示す。
- c. $R=100 \Omega$ のときの最大電圧は JIS T 1355 では 7 kV 以下と定められている。
- d. 出力エネルギー $W [\text{J}]$ は、 $W = 1/R \cdot \int v(t)^2 dt$ で表される。
- e. 出力エネルギーは $R=50 \Omega$ のときに最大となる。



- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
- 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 (選9) = 9)

【解説】

除細動器の放電回路はキャパシタ C 、インダクタ L 、および負荷抵抗 R からなる LCR 回路である。 LCR 回路は R の大小によって過制動、適正（臨界）制動、不足制動の振舞いをする。最近の除細動器は $50\ \Omega$ の標準負荷抵抗のときに設問の図中 B のような適正制動の波形を呈するように設計されている。なお、第 8 回午後問題 25 の解説も参照されたい。

- a. $R=50\ \Omega$ のとき適正制動であるので、 $R=100\ \Omega$ では制動が強くなり過ぎて図中の A の波形となる。
- b. $R=25\ \Omega$ のときは不足制動となり出力波形は振動的となる。
- × c. 除細動器の JIS T 1355 では心筋障害を軽減するために最大出力電圧が規定され、 $100\ \Omega$ 負荷抵抗に対する最大出力電圧は $5\ \text{kV}$ 以下と定められている。
- d. 正しい。第 8 回午後問題 25 の解説参照。
- × e. 製品には数 $10\ \text{mH}$ のインダクタが使用されているが誘導成分のほかに $10\ \Omega$ 程度の直流抵抗をもっている。出力電流を $i(t)$ とすると出力エネルギーは $R \int i^2(t) dt$ で表されるので、直流抵抗に比べて R が大きいほど出力エネルギーは（相対的に）増し、 $50\ \Omega$ より $100\ \Omega$ の方がエネルギーは大きくなる。

【選択問題 10】 電子商品監視(EAS: electronic article surveillance)機器(盗難防止装置)によるペーシング機能付き植込み型除細動器(ICD)への影響として起こりえないのはどれか。番号を解答欄(選10)にマークせよ。[6]

- a. コンデンサ充電機能が停止する。
- b. 刺激が抑制される。
- c. 不可逆的に設定が変更される。
- d. 不要除細動ショックが発生する。
- e. 固定レート刺激が行われる。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

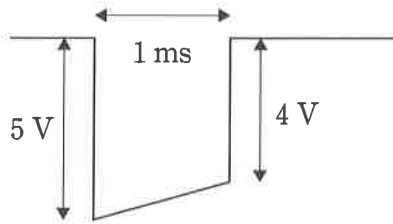
【正解】選10 = 2)

【解説】(社)電波産業会による「電波の医用電気機器等への影響に関する調査研究報告書」(平成15年ならびに平成16年)において、電子商品監視(EAS: Electronic Article Surveillance)機器(盗難防止装置)による植込み型心臓ペースメーカーならびに植込み型除細動器(ICD)への影響についての詳細な実験結果が報告されている(総務省ホームページ参照)。本問はEAS機器による植込み型除細動器(ICD)への影響に関する問題である。現在のICDは除細動機能だけでなくペーシング機能もあるので、その点も考慮する必要がある。

- × a. コンデンサ充電機能が停止する現象は確認されていない。
- b. ペーシング機能が障害されて一時的に刺激が抑制される現象は確認されている。
- × c. ペーシング機能も含めて不可逆的に設定が変更される現象は確認されていない。
- d. 不要除細動ショックが発生することが確認されている。
- e. センシング機能が障害されて一時的に固定レート刺激が行われる現象は確認されている。

今回の調査で、EAS機器による不要除細動ショックが確認されたが、これはゲート内で人体ファントムをゲート面に正対させた場合に、最大42.5cmの距離で発生したものである。ただ、ICDが除細動ショックを発生するまでには、心室細動波形の確認→コンデンサに充電→心室細動波形の再確認というプロセスを経るので、ある程度の時間がかかる。したがって、ICD装着者がゲート内に立ち止まることがなければ、不要除細動ショックを実際に受けることはない。現在、EAS機器にはEASステッカを貼付すると同時に、ペースメーカー装着者ならびにICD装着者に対してゲートの中央を速やかに通り抜けるよう呼びかけている。

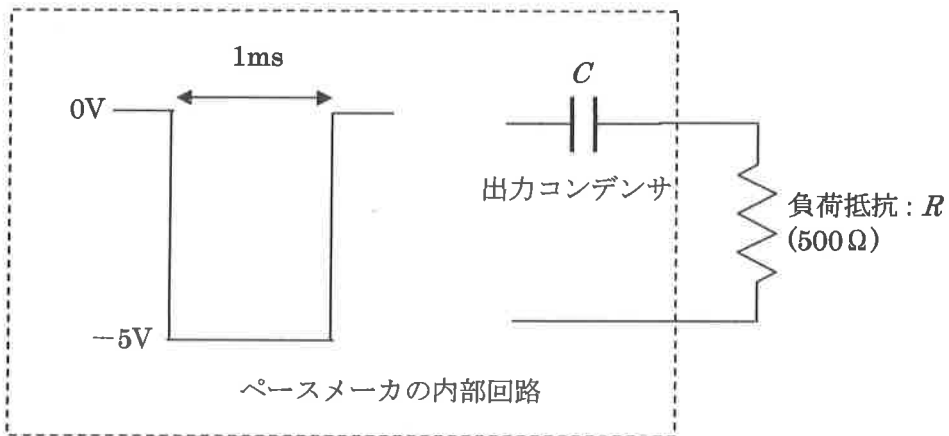
【選択問題 11】 体外式ペースメーカーの出力波形を、負荷抵抗 $500\ \Omega$ で観察したら、概略、図のような波形が得られた。内部発振器の出力を振幅 5 V 、パルス幅 1 ms の方形波とすると、出力端子に直列に挿入されたコンデンサの値はおよそいくらと考えられるか。番号を解答欄(選11)にマークせよ。ただし、 $\log_e 0.8 = -0.223$ とする。[6]



- 1) 80 pF 2) 0.22 nF 3) $0.4\ \mu\text{F}$ 4) $9\ \mu\text{F}$ 5) $25\ \mu\text{F}$

【正解】 (選11) = 4)

【解説】



解説図

解説図は、ペースメーカーの内部回路（出力回路）の概略図であるが、内部発振器で作られた方形波は、刺激電極からのイオンの溶け出しを防ぐために、直流成分カットのためのコンデンサCが挿入されて、負荷抵抗（R：実際は、刺激電極と心筋との接触抵抗）に、問題の図のような波形（概略図）を供給している。

本問題は、基本的には、CR回路（高域通過フィルタ）に方形波が入力したときの、出力波形の概略図を聞く問題である。

解説図で、負荷抵抗Rの両端の電圧は、問題の図のように変化するが、 -5 V から -4 V まではエクスポネンシャルに（指数関数的に）減衰していくが、この時の時定数はCRである。その減衰曲線の式は、出力電圧をE（V）、時間をt（ms）とすると

$$E = -5 \cdot e^{-t/CR}$$

と表わせる。

1 ms 後には、この値（E）は -4 V になるのであるから、これを入れると

$$0.8 = e^{-1/CR}$$

となる。

両辺の対数（自然対数）をとると

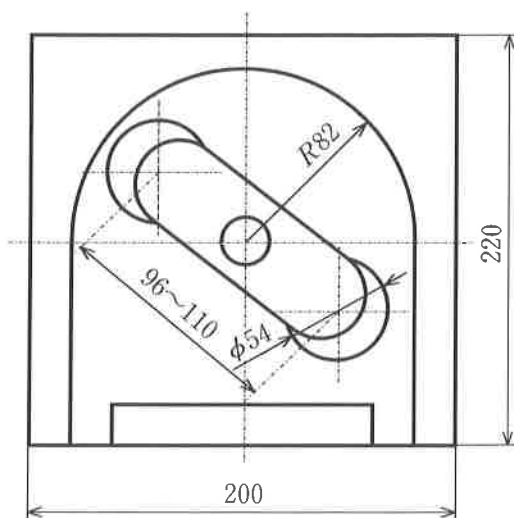
$$\log 0.8 = -1/CR$$

となるので、ヒントの $\log 0.8 = -0.223$ を入れると、 $CR = 1/0.223 = 4.48\text{ ms}$ となる。

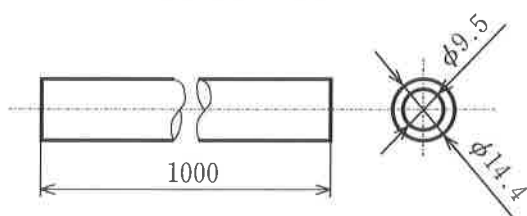
ここで、 $R = 500\ \Omega$ を入れれば、 $C = 8.96\ \mu\text{F}$ と計算できる。よって4) $9\ \mu\text{F}$ がもっとも近い値となる。

なお、それぞれの選択肢のCで時定数を計算し、エクスポネンシャルカーブを描いても、すぐに4)が正解であることが分かるので、各自やってみることを薦める（時定数の時間が経つと、振幅が $1/e$ になることを利用する）。

【選択問題 12】 図 A に示すポンプヘッドをもつローラポンプに，図 B に示す内空の断面積 71 mm^2 のポンプチューブを適切なオクルージョンで装着した。ローラポンプを回転数 120 rpm で駆動させた場合，ローラはチューブを 0.94 m/s でしごいている。このときの流量は何 ℓ/min となるか。番号を解答欄 **選 12** にマークせよ。ただし，図中の数値の単位は mm であり， $1 \text{ m}^3/\text{s}$ は $6 \times 10^4 \ell/\text{min}$ である。[6]



A ポンプヘッド



B ポンプチューブ

- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4 5) 5

【正解】 (選12) = 4)

【解説】 ローラポンプの流量は、単位時間にローラがしごいていくチューブの内容積で決まるので、

流量 Q = チューブ内空断面積 S × しごいていく速度 v
となり、単位を合わせるための係数をかけて、

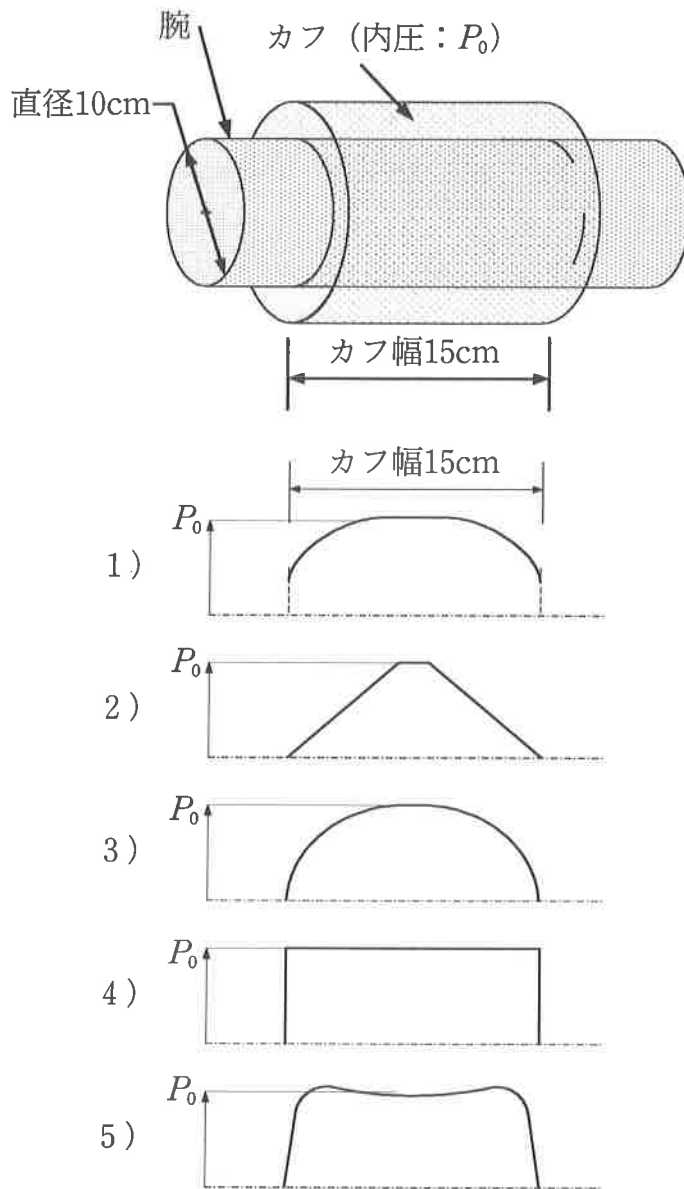
$$Q = 0.94 \times 71 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^4 = 4.0 \text{ [}\ell/\text{min]}$$

と求まる。

なお、問題ではしごいていく速度 0.94 m/s およびチューブ内空断面積 71 mm^2 を与えているが、これらの値はポンプ回転数と図中の寸法を用いて計算することが出来るので、試していただきたい。

【選択問題 13】 図のように、直径 10 cm の腕に幅 15 cm のカフを巻き、圧力 P_0 の空気圧で圧迫した。このとき、カフの下にある腕の中心部での圧力分布はどのようなになるか。番号を解答欄(選13)にマークせよ。ただし、腕組織は非圧縮性で、等方性の力学特性をもつものとし、骨などの構造を考えないものとする。

[6]



【正解】 (選13) = 1)

【解説】 間接的血压測定用では、腕を覆ったカフの圧と等しい圧力をカフ下部の組織を介して血管に加え、血管を圧迫することによって血压値を判定する。圧迫に伴う血管音（コロトコフ音）を検出するのが聴診法であり、カフ内圧に重畳する微小圧振動から血压を判定するのがオシロメトリック法である。

圧迫に必要なカフの幅は腕の径に依存し、カフの幅が直径の1.2倍以上ないとカフの中央部で血管まで圧力が伝達しない。設問では径の1.5倍の幅があるので、ある程度の幅で血管がカフ圧で圧迫される。また、カフの周辺部では理論的にカフ圧は正しく血管まで届かず、約1/2の圧が伝達されるに留まる。この条件に合致するのは1)のみである。

【選択問題 14】 誘発電位を A/D 変換するとき最も高いサンプリング周波数を必要とするのはどれか。番号を解答欄 **選 14** にマークせよ。[6]

- 1) 視覚誘発電位 (VEP)
- 2) 網膜活動電位 (ERG)
- 3) 事象関連電位 (ERP)
- 4) 体性感覚誘発電位 (SEP)
- 5) 聴覚脳幹誘発電位 (ABR)

【正解】 **選 14** = 5)

【解説】 A/D 変換時のサンプリング周波数は信号のもっている最高周波数成分の 2 倍上が必要である。以下に各誘発電位の一般に使用されている必要なフィルター帯域を示す。

	低域遮断	高域遮断
事象関連電位	0.05~0.5 Hz	30~100 Hz
視覚誘発電位	0.2~1.0 Hz	200~300 Hz
網膜電位図	0.5~10.0 Hz	500 Hz~1.0 kHz
体性感覚誘発電位	0.5~20.0 Hz	500 Hz~1.0 kHz
聴覚脳幹誘発電位	10~100 Hz	1.5 kHz~3.0 kHz

従って聴覚脳幹誘発電位 (反応) が最も高い周波数成分をもつ誘発電位であるため A/D 変換時の必要なサンプリング周波数はこれらの誘発電位の中で最も高い。

【選択問題 15】 デジタル脳波計について誤っているのはどれか。番号を解答欄 **選 15** にマークせよ。[6]

- 1) ナイキスト周波数よりも高い周波数の混在に対してはエイリアシング対策が必要である。
- 2) 単極・双極導出モニタージュの設定は脳波判読時に行うことができる。
- 3) システムレファレンス電極はボディアース電極とは別に必ず必要である。
- 4) フィルタ設定は脳波判読時に行うことができない。
- 5) 個々の電極の電極接触抵抗が測定できる。

【正解】 **選 15** = 4)

【解説】

- 1) サンプリング周波数の $1/2$ の周波数をナイキスト周波数というが、ナイキスト周波数より高い成分が信号に混在している場合にはエイリアシング雑音対策として通常 A/D 変換する前に高域遮断のアナログフィルタ処理を行うことが必要である。
- 2) デジタル脳波計では最初にシステムレファレンスを基準に耳垂を含めて頭皮上の電極部位の脳波を全て導出しメモリしておく。これにより記録終了後の脳波判読時においても単極、双極導出等のモニタージュ設定が自由に行うことができる。
- 3) システムレファレンス電極と差動増幅器の中性点電極（通常ボディアース電極）を別におかないと差動増幅器の 2 入力端子の機能が損なわれる。
- × 4) 脳波の導出段階であらかじめ広帯域でフィルタ設定をしておくとは脳波判読時に種々のフィルタ設定が可能である。
- 5) ほとんどのデジタル脳波計には計算により個々の電極接触抵抗を測定することができるようになっている。従来は耳垂と頭皮上の電極間の抵抗（2つの電極間の電極接触抵抗）を測定していたが、デジタル脳波計では耳垂なら耳垂のみの電極接触抵抗も測定できる。

【選択問題 16】 呼吸ガスの種類と検出原理の組み合わせで適当でないのはどれか。番号を解答欄(選16)にマークせよ。[6]

- a. He ——— 熱伝導度式
- b. O₂ ——— 白金電極式
- c. CO₂ ——— 赤外線吸収式
- d. N₂ ——— グロー放電式
- e. CO ——— 熱線式

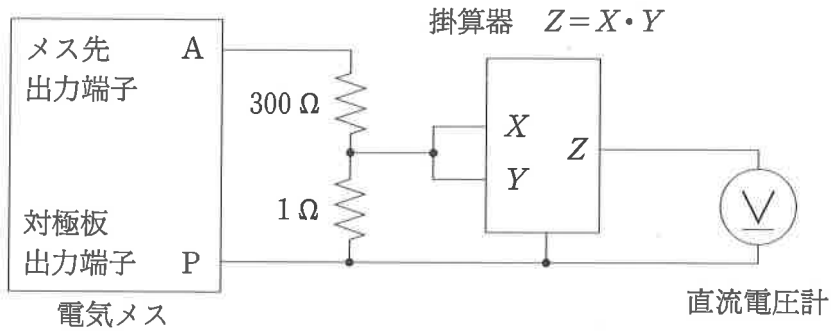
- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
- 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 (選 16) = 7)

【解説】

- a. He ガス検出装置はカサロメータまたはカタヒロメータと呼ばれ、加熱した導体（電線）は気体によって冷却される。He ガスが流れて熱伝導によって加熱導体の熱が奪われると電線を冷却し、その結果電線の抵抗値が変化する。この変化をブリッジ回路で He 濃度に比例した信号を電圧変化として検出する。
- × b. O₂ ガス電極は通常陰極に白金線、陽極に Ag-AgCl 電極を用いてその間に 0.6 V 程度の電圧を加えることによって白金線の陰極で消費された酸素に比例した還元電流が流れることを利用したもので、本法をポーラログラフ法またはアンペロメトリック法とも呼ばれている。白金線を陰極に用いているが、これを白金電極法とはいわない。開発者の名前をとり O₂ 電極を通常クラーク電極ともいう。
- c. CO₂ ガスが赤外線領域で吸収帯をもっていることを利用している。一対のランプから発した 2 本の赤外線的一方はそのままチャンバに入り、他方の赤外線は CO₂ ガスセルを通過した後にチャンバに入るようにしておくと、CO₂ ガスセルを通った方のチャンバは通らない方のチャンバに比して温度が低下するため 2 つのチャンバの境界を金属膜で仕切っておくと金属膜は低温の方に可動する。この金属膜に種々の歪みセンサを付けておくと CO₂ ガスに応じた出力が得られる。
- d. 呼吸中の混合気体の一部を真空ポンプで両端に 100 V の低圧をかけた放電管に導くと、N₂ ガスはその濃度によって波長 330~480 μm の紫色のグロー放電を発する。この放電光をフィルタを介して光電素子などで検地すると N₂ 濃度に応じた電圧を得ることが出来る。
- × e. CO ガスも CO₂ ガス同様赤外線領域で吸収帯をもっているため、CO₂ と同じ原理で測定を行うことができる。熱線式は白金線を熱して呼吸流量などを測定する場合に用いる。

【選択問題 17】 図の回路で，掛算器(乗算器)を使って電気メスの切開出力を測定した。掛算器の出力を平均値指示型のアナログ直流電圧計で計測したところ 0.8 V を示した。電気メスの出力供給電力はおよそいくらか。番号を解答欄 **選17** にマークせよ。なお，抵抗は無誘導抵抗を使用し，掛算器等は計測上十分な周波数特性を有しているものとする。[6]



- 1) 120 W 2) 160 W 3) 200 W 4) 240 W 5) 300 W

【正解】 (選17) = 4)

【解説】

アナログ掛算器（乗算器）とは、2つ以上の入力の掛算（乗算）を出力する機能を持ったICである。本問題では、出力（ Z ）=入力1（ X ）×入力2（ Y ）という関係にある。

問題図で、負荷抵抗 $R(300\ \Omega + 1\ \Omega)$ の両端の電圧を E (V) とすると、出力電力 P (W) は

$$P = E^2 / R$$

と計算できる。E は掛算器には $1/301$ に減衰されて入るから

$$X = Y = E/301$$

となり、掛算器の出力 Z は

$$Z = (E/301)^2 = E^2/90601$$

が出力されることになる。これが 0.8 V であるから、

$$E^2 = 0.8 \times 90601$$

となる。よって

$$P = E^2/R = 0.8 \times 90601/301 = 240.8 \text{ (W)}$$

と計算できる。よって、もっとも近い値は 4) 240 W である。

【選択問題 18】 超音波診断装置についてアドバイスを求められた。適切なのはどれか。番号を解答欄(選18)にマークせよ。[6]

- a. 超音波のハーモニクスを利用するには、マイクロバブルの投入が必須である。
- b. 3次元超音波撮影はオフラインでの画像処理が必要なので臨床利用は難しい。
- c. 超音波の伝播波形の非線形性によって、毎秒の撮像枚数の上限が決まる。
- d. 安全性は主に超音波の熱作用とキャビテーションを抑制することで保たれる。
- e. 超音波出力は診断可能な画像の得られる範囲で必要最小限に絞って用いる。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] (選18) = 10)

[解説]

- × a. 超音波のハーモニクスを利用するには、マイクロバブルの投入は必ずしも必須ではない。超音波探触子から発振されている基本周波数以外の高調波を利用したり、あるいは組織中を超音波が進行している間に非線形性によって高調波が発生・増加するがこの高調波を利用しても良い。
- × b. 3次元超音波撮影は、処理すべき情報量が大きいので、従来はオフラインでの画像処理が必要であったが、コンピュータの処理能力の増強により、現在はほぼリアルタイムのオンライン処理が可能となり、多くの産婦人科で用いられ、胎児の出生前撮影などに使われている。臨床利用はすでにルーチンである。
- × c. 毎秒の撮像枚数の上限が決めるのは、超音波の伝播波形の非線形性ではなく、組織中の伝播速度である。例えば電子セクター探触子を考えると、一枚の超音波画像を撮影するのに要する時間は扇形走査の深さとスキャンする超音波ビームの本数とで決定する。
- d. 安全性は主に超音波の熱作用とキャビテーションを抑制することで保たれるのは、常識ではあるが重要な事項である。
- e. 超音波出力は診断可能な画像の得られる範囲で必要最小限に絞って用いることが、日本超音波医学会やFDAなどから勧告されている。超音波は、従来、胎児に対しても全く無害と考えられていたが、キャビテーションの発生にともなう細胞膜の障害などの実験結果が得られて来たことなどから、まだ人体での副作用や悪影響のエビデンスは無いが、安全のためにこのような勧告に変更された。

【選択問題 19】 超音波診断装置について正しいのはどれか。番号を解答欄

選19にマークせよ。[6]

- a. パルスドプラ法では、エイリアシング(折り返し現象)が発生しうる。
- b. ドプラ法は、静止した血中内マイクロバブルの破裂消滅の影響を受けない。
- c. Bモード画像は、使用周波数を下げると焦点付近の空間分解能が低下する。
- d. 超音波造影剤は、心臓や肺などの血管内に用いてはならない。
- e. 診断用超音波は安全なので胎児にも繰り返し何度でも検査できる。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] (選19) = 2)

[解説]

- a. パルスドプラー法では、エイリアシング（折り返し現象）が発生しうるのは、何度も出題されている基本中の基本なので、解説は省略する。なぜ発生するのかについて、サンプリング定理とともにすぐに思い出せない人は、必ず該当する解説を読んでおくこと。
- × b. ドプラー法は、静止した血中内マイクロバブルの破裂消滅の影響を受ける。これは少し難しい問題かもしれない。臨床現場で実際にマイクロバブルつまり超音波造影剤を扱って超音波診断をしたことのある人には易しいが、マイクロバブルはドプラー信号に著しい影響を与える。なぜなら、運動を検出するドプラー法での計測の根本原理は、超音波探触子から発射された信号がどのように変化して受信されるかであり、変化する基本は周波数であるが、回路での検出の際には位相であったり、相関法や MTI (moving target indication) などによる変化成分の検出であって、とにかく元の送信信号と受信信号の差を検出するからである。もともと不安定なマイクロバブルが破裂したり拡散により消失すれば、超音波信号の周波数領域に著しい影響（通常広範囲の周波数に影響を及ぼす）を与え、その影響は超音波信号強度の単純な時系列輝度変調と走査である超音波画像（Bモード法）には大きな影響を示さないが、ドプラー法には強い信号（ノイズとも言える）を生成することになる。
- c. Bモード画像は、使用周波数を下げると焦点付近の空間分解能が低下するのも、何度も出題されている基本問題。
- × d. 超音波造影剤は、心臓や肺など重要臓器に達する血管内に用いてはならないというのは誤り。超音波造影剤は右心室は言うにおよばず、左心室や冠状動脈の造影など心臓領域にもよく利用される。
- × e. 診断用超音波は安全なので胎児にも制約無く、繰り返し何度でも検査できる。これは誤り。先の選択問題 18 の設問 e での解説に記した通り。

【選択問題 20】 超音波診断におけるアーチファクトについて誤っているのはどれか。番号を解答欄(選 20)にマークせよ。[6]

- 1) 屈折により、実際の形状が歪んで表示されることがある。
- 2) 多重反射により、結石の深部にコメット様エコーが発生することがある。
- 3) 腹直筋によるレンズ効果で巨大な血管像が発生することがある。
- 4) グレーティング・ローブにより、全く異なる部位の像が見えることがある。
- 5) 滑らかな広い面で鏡のように超音波が反射すると虚像が発生することがある。

【正解】(選 20) = 3)

【解説】

それぞれ、基本問題であるが、3)のみが逆。ホイヘンスの原理を用いて、超音波の生体組織における音速と、腹直筋の横断面形状（およそ凸レンズ型と言えよう）を考えてみるとよくわかる。脂肪などに比べより密度が高く音速の速い凸レンズ型の筋肉の効果で平行に入力された超音波ビームは広がって筋肉を出て行く。光におけるガラスの凸レンズでは光速がレンズ内で遅いので光を収束させるが、超音波における生体内筋肉の凸レンズでは音速がレンズ内で速いので超音波を拡散させることに注意。従って、探触子から見ると、超音波画像では腹直筋を通すと小さく縮小されて見える。

【選択問題 21】 MRI について誤っているのはどれか。番号を解答欄(選 21)にマークせよ。[6]

- a. 原子核の回転角速度の周波数は静磁場強度に比例する。
- b. ラジオ周波数(RF)は原子核の回転角速度の周波数と同じに設定する。
- c. 傾斜磁場の強さは静磁場と同じにする。
- d. 位置情報の検出にはドプラシフトを用いる。
- e. 水素原子の磁気回転比は 42.5 MHz/T である。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 (選 21) = 8)

【解説】

- a. 原子核の歳差運動時の回転角速度 ω は $\omega = \gamma B$ のラーモアの式で示される。 γ を原子核の磁気回転比 (一定) とすると ω は静磁場強度 B に比例する。
- b. 歳差運動している原子核に外部より与えるラジオ波の周波数を歳差運動している回転角速度の周波数と同じにすることで、原子核との間で共鳴現象が生じ、原子核は外部エネルギーを吸収する。
- × c. 静磁場に重畳させる傾斜磁場は静磁場よりはるかに弱い磁場が用いられる。
- × d. 静磁場に重畳した傾斜磁場の強さで決定されるラーモアの周波数を用いて位置情報が検出される。位置情報をもつラーモアの周波数の検出には周波数分析が用いられる。ドプラシフトとは無関係。
- e. 水素原子の磁気回転比 γ は 42.5 MHz/T であり、1 T (=10000 ガウス) における歳差運動の回転角速度周波数を表している。磁気回転比は物質すなわち原子核の種類によって異なる。

【選択問題 22】 温熱療法(ハイパーサーミア)において、患部の温度計測に通常用いられるのはどれか。番号を解答欄(選 22)にマークせよ。[6]

- a. 水銀体温計
- b. 熱電対
- c. サーミスタ
- d. サーモグラフィ
- e. 深部体温計

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 (選22) = 5

【解説】 ハイパーサーミアに用いられる温度測定機器としては、熱電対温度計、サーミスタ温度計そして光学的な光ファイバ温度計がある。いずれも局所にプローブを刺入する侵襲温度計である。

サーモグラフィや深部体温計は非侵襲的な温度計測法であるが、サーモグラフィは空間的な体表面温度分布の計測法であり、深部温度計は体組織温の連続計測法であるが侵襲温度計のように局所の温度計測は困難である。

- × a. ガラス管に封入された水銀とガラス管の体膨張率の違いによって温度を計測するものである一般的な体温計測に使用されたものである。
- b. サーモカップルとも呼ばれ、2種類の金属線たとえば銅とコンスタンタン(銅とニッケルの合金)線のそれぞれの両端を接続して閉回路をつくり、2ヶ所の接続部分に温度差を与えると回路に起電力が生じる(ゼーベック効果)。したがって、一方の接続部分を氷水などで0°Cにして、反対側の接続部分を温度計測の部位に挿入することによって、電圧を計測すれば局所の温度を検出することができる。
- c. 半導体の抵抗が大きな負の温度係数を持っていることを利用した抵抗温度計で一般的に電子体温計として使用されているものである。Fe, Ni, Mn, Mo, Cuなどの酸化物、炭酸塩、硝酸塩、塩化物を焼結したものがサーミスタと呼ばれるものである。
- × d. サーモグラフィは体表面から放射される赤外線(電磁波)を検出して、体表面の温度分布の画像情報を得るものであるから、体組織内局所の温度計測はできない。
- × e. 直径が数cmのプローブにサーミスタを入れて、プローブを体表面につけて表面の温度を計測するものである。この際、外気と接触している部分を断熱材で被覆すれば、20分程度で体表と深部の温度が平衡になる。一度平衡になると、体深部温度に追従して計測が可能である。しかし、ハイパーサーミアで必要とされる体組織内の局所温度の上昇を細かく計測することはできない。

【選択問題 23】 光学的な検体検査機器とその計測対象との組み合わせで誤っているのはどれか。番号を解答欄(選23)にマークせよ。[6]

- a. 分光光度計 ————— 組織片の色素の沈着度
- b. 炎光光度計 ————— Na, K の定量
- c. 原子吸光度計 ————— 残留放射性核種の濃度
- d. 赤外分光光度計 ————— コレステロール, 炭酸カルシウムの分析
- e. 蛍光光度計 ————— ビタミン A, B₁, B₂ の定量

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
- 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】(選23) = 2)

【解説】生体から出された代謝物質(検体)を検査・分析することによって、生体内の情報をうることができるが、これを行う機器を検体検査機器と呼んでいる。

- × a. 検体中の計測対象とする物質に特異的に発色する試薬を加えて、その色と余色(補色)の関係にある色(波長)の光を当てると、透過した光は物質の濃度によって吸収される光量が異なる。この光量の変化を光電素子によって検知して定量分析するものである。したがって、組織片の色素の沈着度を計測するものではない。
- b. 炎光光度計は、炎の燃焼によって対象となる元素を励起し、それから放射される発光スペクトルを干渉フィルタで分光して、その強度を光電管で検知して計測するものである。Na, K, Liなどの濃度の計測に使用される。
- × c. 金属原子を熱励起すると、それぞれの原子に固有な輝線スペクトルを放射する。一方、基底状態にある原子は、その原子自身が励起された時に発する固有の輝線スペクトルを選択的に吸収する性質を有する。原子吸光度計では光源にその金属原子と同一の輝線スペクトルを放射する放電管を用い、炎の熱で原子化した金属原子がどれだけその光を吸収するかを計測するものである。K, Na, Ca, Mgなどの計測に使用される。
- d. 波長2.4~14.5 μm の範囲にある赤外線吸収の性質を利用して、分子レベルの構造解析や炭酸カルシウムなどの定量分析をするものである。有機化合物の分析、構造決定などの使用される。
- e. 検体を紫外線で物質を照射すると、そのエネルギーを吸収して励起状態になり、それが基底状態に戻るときに出される波長の長い光(蛍光)を放射するので、これを検知して定量分析するものである。ビタミンの他に、ヒスタミン、ステロイドホルモン、血清タンパクなどの測定に使用される。

【選択問題 24】 レーザ手術装置(レーザメス)の取り扱いについて誤っているのはどれか。番号を解答欄(選 24)にマークせよ。[6]

- a. 術者、患者および周囲の補助者は使用するレーザ光に適した防護眼鏡を着用する。
- b. レーザ光の照射は出射端を術者の眼の高さよりも十分に下げて、打ち下げの方向で行う。
- c. 鉗子などは鏡面仕上げしたステンレス製を使用する。
- d. 照射部位以外の術野を保護して、レーザ光の照射は1人の術者が行う。
- e. レンズ面の汚れは、生理食塩水をしみこませた綿棒で軽く拭いてとる。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
- 6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】選24 = 9)

【解説】 レーザメスの安全な運用に関する一般的な注意事項としては以下のことが示されている。

1. 患者，術者，および周囲の補助者は，眼球防護のために保護めがねを着用する。
2. 照射部位以外の術野を適宜保護する。
3. 術野での反射を防ぐために，反射率の高い金属無垢の鉗子などの使用を避ける。
4. レーザの照射は，1人の術者がしなければいけない。
5. レーザの出射端は，術者の目の高さよりも十分に下げた位置とする。
6. レーザの出射方向は打ち下げとし，水平，あるいは打ち上げてはいけない。
7. 照射部位に目を過度に近づけず，適当な距離を確保する。

その他，術中に可燃性の麻酔薬，気管チューブ，乾いた布などにレーザー光が当たると燃える恐れがあるので，引火物は周囲に置かないようにする。また，レーザーメスを使用する術野からの煙霧は，レーザーメスのレンズ系の導光率を低下させ，術野におけるレーザーメスの効果を傷害するだけでなく，有害で悪臭を伴う生体燃焼物や病原体，発癌物質などを含有する危険性があるため，速やかに排除する必要がある。

- a. 上記のように，レーザー光に適した保護めがねを着用する。
- b. 上記のように，出射端を目の高さよりも下げて，打ち下げすなわち光を下向きにして行う。
- × c. 鉗子などは反射率の低い黒色メッキをしたものなどを使用する。また，歯科口腔外科領域では，保護紙などを用いて，入れ歯などからの反射を防止する。
- d. 照射部位の周辺を保護するために生理食塩水で十分濡らしたガーゼでおおい，1人の術者が行う。
- × e. 生理食塩水ではなく，蒸留水である。

【選択問題 25】 マイクロ波手術器について誤っているのはどれか。番号を解答欄 **選25** にマークせよ。[6]

- a. マイクロ波の周波数は 2450 MHz である。
- b. マイクロ波はマグネトロンで発生させる。
- c. マイクロ波は光ファイバで伝送される。
- d. 組織中の水分の誘電熱による凝固・止血が主な作用である。
- e. マイクロ波を反射させる反射板を使う。

- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】 (選 25) = 9)

【解説】 マイクロ波手術器はマイクロ波メスとも呼ばれ、切開機能よりは凝固・止血機能を重視した手術器である。マイクロ波とは周波数が 300 MHz～30 GHz の電磁波のことであり、マイクロ波手術器には 2450 MHz が使用されている。その作用は、生体組織中に含まれる多量の水分にマイクロ波が作用して発生した水分子の摩擦熱（誘電熱）によって凝固・止血を行う。つまり、1450 MHz のマイクロ波は電界が毎秒 2450×10^6 回で変化するので、水分子の極性もそれに応じて変わり水分子間に誘電熱が生じる。

- a. 上記のように、マイクロ波手術器には 2450 MHz が使用されている。
- b. マイクロ波はマグネトロンと呼ばれる強い磁界を加えた二極管で発振させる。
- × c. 光ファイバはレーザー光などの光を伝送するものであり、マイクロ波は波長によって決まる大きさの導波管によって伝送される。したがって、出力の同軸ケーブルを小さく折り曲げるとこの導波管が変形するために絶対に行ってはいけない。
- d. 上記のように、マイクロ波の誘電熱によって凝固・止血を行う。
- × e. マイクロ波は水による吸収が大きいために、生体組織中ではたかだか 1～2 cm でほとんどのエネルギーが吸収される。したがって、反射板のようなものは不要で使用する意味もない。

小論文試験問題

昨今、マスコミでも大きく取り上げられるようになったように、医療事故の発生が顕著化しつつある。この原因としては種々のものが考えられるが、医療従事者が注意をすればすべて防げるといった単純なものではない。たとえば、今日、医療の諸技術が大きく進歩しているにもかかわらず、技術に習熟した医療従事者を医療現場に十分に配置することが困難といったことなども挙げられる。こうした医療事故は、Heinrichの法則によれば、重大な医療事故1件に対して、軽微な事故は29件、事故には至らないもののいわゆるヒヤリ・ハットといわれるような事例(インシデント)は300件もあると報告されている。このようなことから、医療事故の防止対策には、実際に起こった事故の調査・分析を行うことが不可欠であるが、そのみならず、多くの危険情報の収集と分析も重要である。その意味からは、ヒヤリ・ハット事例は、種々の多くの事故につながるかもしれない要因を含んでおり、それらについての調査・分析はきわめて有用とされている。

最近の種々の医療技術のうちでも、とくに進歩の著しい各種医療機器の不具合や操作ミスは、ヒヤリ・ハットの大きな原因と考えられる。そこで、以下のIおよびIIの設問に対し、各自の考えを述べなさい。

- I. 医療機器に関連した事故を3つ取り上げ、それぞれについて原因を説明しなさい。

- II. 医療機器に関連した事故を防ぐにはどのような危機管理体制をとればよいか。それについての事項を3つ述べなさい。

ただし、論文はIとIIを合わせて1200字以内とし、**800字に満たない論文は小論文の評価が0点**になるので注意すること。また、改行は必要最小限にとどめること。[50]