

【問題1】 時速 93.6 km で走る自動車が振動数 800 Hz の警笛を鳴らした。音の速さを 340 m/s とするとき、逆向きに秒速 16.0 m で進んでくる自動車に乗っている人は、近づくときには Hz の振動数の音を聞き、遠ざかるときには Hz の振動数の音を聞くことになる。適切な数値を解答欄 ～ に記入せよ。[2×2=4]

【正解】 = 907 = 708

【解説】 いま音速を v 、音源の振動数を f_0 、音源の動く速度を u_s 、観測者の動く速度を u_0 とすると、ドップラ効果により、観測者の聞く音波の振動数 f は、 $f = f_0(v - u_0)/(v - u_s)$ となる。

時速 93.6 km で走る自動車は、秒速に直すと 26.0 m/s となるから、逆向きに秒速 16.0 m で進んでくる自動車に乗っている人が近づくときに聞く音の振動数 f_1 は、 $f_0 = 800$ (Hz)、 $v = 340$ (m/s)、 $u_0 = 16.0$ (m/s)、 $u_s = 26.0$ (m/s) であるから、

$$f_1 = 800 \times (340 + 16.0) / (340 - 26.0) = 907 \text{ (Hz)}$$

また、遠ざかるとき聞く音の振動数 f_2 は、

$$f_2 = 800 \times (340 - 16.0) / (340 + 26.0) = 708 \text{ (Hz)}$$

となる。

【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. 硬いX線とは、物体に対する透過能がより大きいX線のことである。
- b. 軟らかいX線ほど波長が短い。
- c. β 線は高速度の電子流である。
- d. ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ が ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ に変わる崩壊は α 崩壊である。
- e. 半減期が1602年のラジウム2.0gが0.25gになるのには6408年かかる。

- 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=7)

【解説】X線や放射線の性質に関する問題である。本問に関連する事項について次に簡単に示す。

(1) X線は普通の光が通ることのできない物質を透過するが、透過能の大きなものほど硬いX線といい、透過能の小さいものほど軟らかいX線という。前者は波長が短く、後者は長い。

(2) 物体が電磁波や粒子の形で放出するエネルギーを一般に放射線というが、天然に存在する放射性物質から放出される放射線には α 線、 β 線、 γ 線の3種類のものがある。このうち α 線は高速度で放出されるHeの原子核、 β 線は高速の電子の流れ、 γ 線は短波長の電磁波である。

(3) 放射性崩壊には、 α 線を出して崩壊する α 崩壊と β 線を出して崩壊する β 崩壊がある。前者は α 線を出すことから、陽子の数が2個減り（したがって原子番号が2だけ減り）、核子（陽子と中性子）の数が4個減る（したがって質量数が4だけ減る）。また、後者の β 崩壊では、 β 線すなわち電子流が放出されるため、陽子が1個増す（原子番号1だけ増す）が、核子数は変わらない。

(4) 半減期とは、放射線元素が崩壊して元の量の半分になるまでに要する時間のことで、元の放射線の量を N_0 、半減期を T 、任意の時間を t 、その時間までに崩壊しないで残っている放射線の量を N とすると、 $N=N_0(1/2)^{t/T}$ で表される。

以上より、各選択肢の正誤は次のようになる。

- a. 上記の(1)の事項から明らかである。
- × b. 同じく(1)の記載の通りである。
- c. (2)に記したように β 線は高速の電子の流れである。
- d. (3)に示したように、この崩壊は原子番号が2だけ減り、質量数が4だけ減っているから α 崩壊である。
- × e. (4)に示した式に、 $T=1602$ (年)、 $N_0=2.0$ (g)、 $N=0.25$ (g)を代入すると、 $0.25=2.0 \times (1/2)^{t/1602}$ となり、これより $t/1602=3$ となることから、 $t=4806$ (年)である。

【問題3】 生理食塩液(0.9%塩化ナトリウム水溶液)1ℓに20%塩化ナトリウム液を加えて、 Na^+ 濃度を160 mEq/ℓに上げる際の手順に関する次の問いに答えよ。ただし、Na, Clの原子量はそれぞれ23, 35.5とし、 $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ への電離度は100%とする。

3-1 生理食塩液1ℓに存在するNaClは何mgか。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 0.9 2) 9 3) 90 4) 900 5) 9000

3-2 Na^+ 濃度160 mEq/ℓの塩化ナトリウム液1ℓに存在するNaClは何mgか。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 4.68 2) 9.36 3) 3680 4) 4680 5) 9360

3-3 20%塩化ナトリウム液1mℓ中のNaClは何mgか。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 0.2 2) 2 3) 20 4) 200 5) 2000

3-4 加える20%塩化ナトリウム液の量はおよそ何mℓか。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 0.7 2) 1.8 3) 7.1 4) 18 5) 45

3-5 添加することによる浸透圧濃度の上昇分はおよそ何mOsm/ℓか。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 4.8 2) 6.1 3) 12.3 4) 145 5) 289

[正解] ②=5) ③=5) ④=4) ⑤=2) ⑥=3)

[解説] 薬液の調製に関する化学量論計算の問題である。

3-1 1%濃度はほぼ1 g/dℓに等しいとみなせる。また、1 ℓ=10 dℓ、1 g=1000 mg であるから、生理食塩液1 ℓに存在する NaCl は

$$0.9 \times 10 \times 1000 = 9000 \text{ mg}$$

となる。

3-2 Na⁺ のような1価の電解質の場合、1 mEq/ℓ=1 mmol/ℓ、NaCl の分子量は23+35.5=58.5 であるから、Na⁺ 濃度160 mEq/ℓの塩化ナトリウム液1リットルに存在する NaCl は

$$160 \times 58.5 = 9360 \text{ mg}$$

となる。

3-3 前述のごとく20%=20 g/dℓとみなせるため、1 dℓ=100 ml、1 g=1000 mg より、20%塩化ナトリウム液1 ml中の NaCl は、

$$20 \times 1000 / 100 = 200 \text{ mg}$$

となる。

3-4 加える20%塩化ナトリウム液の量は

$$(9360 - 9000) / 200 = 1.8 \text{ ml}$$

となる。

3-5 元の生理食塩液(0.9%塩化ナトリウム水溶液)の Na⁺ 濃度、Cl⁻ 濃度は、それぞれ

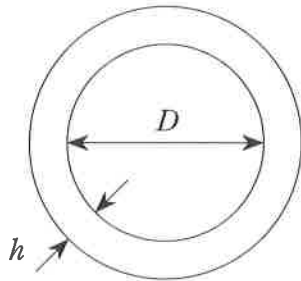
$$9000 / 58.5 = 153.8 \text{ mEq/ℓ}$$

である。従って、Na⁺ 濃度ならびに Cl⁻ 濃度160 mEq/ℓの塩化ナトリウム液の浸透圧濃度は

$$(160.0 - 153.8) \times 2 = 12.3 \text{ mOsm/ℓ}$$

上昇することになる。

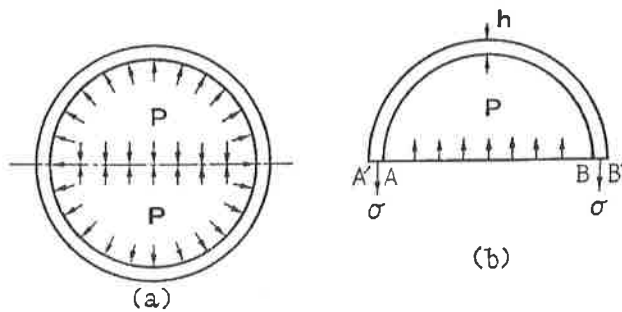
【問題4】 図のような内径 D 、厚さ(肉厚) h の球状のガスボンベに圧力 P のガスを封入したい。ボンベ材料の引っ張り力に対する許容応力を σ とすると、ボンベが破壊されないためには厚さ h はいくら以上であればよいか。解答欄 © に記入せよ。[6]



[正解] $\text{C} = PD/4\sigma$

[解説] 球状のガスボンベが内圧によって破壊される場合は、下図のように直径方向で破壊する。したがって、この破壊する力と破壊に耐える力の釣り合いを考えればよい。

破壊しようとする力は、球の内面に均等に同図 (a) の矢印のように加わる圧力であるが、球は直径方向で破壊するから、それぞれの圧力の垂直方向のみを考えればよい。したがって、同図 (b) のように直径に垂直方向の圧力で考えれば、これが球の内側の断面に働くから、破壊する力 = 断面積 \times 圧力 $= (\pi D^2/4) \times P$ である。

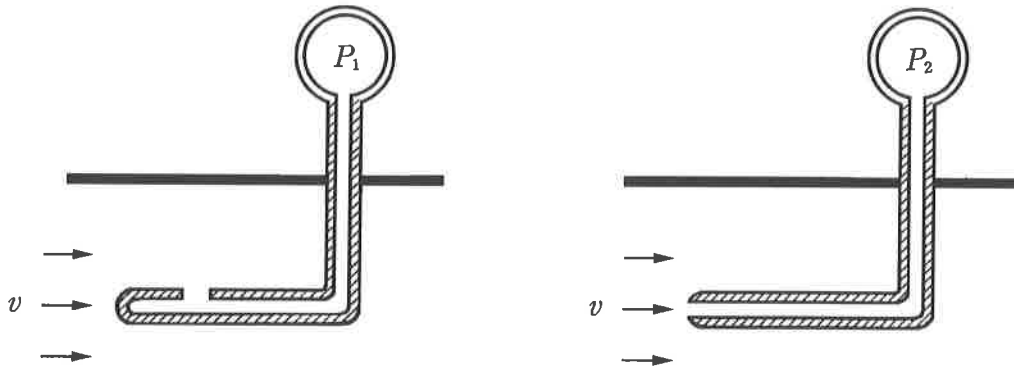


一方、破壊に耐える力は A-A' と B-B' の壁に発生する応力 σ である。この応力が加わる面積は、ボンベの円周が $2\pi(D/2)$ であり壁の厚さが h であるから $2\pi(D/2)h$ となる。したがって、発生する応力 σ によって破壊に耐える力は、 $2\pi(D/2)h \times \sigma$ である。

この場合、ガスボンベの場合は肉厚 h が直径に比べて小さいから、ボンベ壁内に生じる応力は一様であり、ボンベの内径と外径による円周もほぼ同じとみなすことができる。

したがって、 $(\pi D^2/4) \times P = 2\pi(D/2) \times \sigma$ から、 $h = DP/4\sigma$ 以上あればよい。実際のボンベは、安全率を考慮するために h はこの値の数倍である。

【問題5】 流速 v の流体中に図のように2種類の細い管を挿入したところ P_1 , P_2 の圧力が得られた。図左は管の側面に穴が開き，図右は管の先端に穴が開いている。流体の密度を ρ とし，定常流で管周辺の流速は均一で流線の乱れや粘性などは無いとする。ただし，静水圧は考えないものとする。以下の設問の空欄に当てはまる適切な語句・数値を解答欄 ～ に記入せよ。



5-1 管の中の圧力 P_1 は静圧と呼ばれ， $P_2 - P_1$ は と呼ばれる。[2]

5-2 圧力 P_2 はベルヌーイの式から として表される。[4]

[正解] ㉔=動圧 ㉕= $P_1 + (1/2)\rho v^2$

[解説] 流れが定常で粘性がなく静水圧を考えないと、ベルヌーイの定理から2つの管の間には $P_1 + (1/2)\rho v^2 = P = \text{一定}$ である。この P を総圧、通常の圧力である P_1 を静圧、 $(1/2)\rho v^2$ を動圧と呼ぶ。総圧は、ベルヌーイの定理から運動エネルギーの損失がないように流れの速度 v を0にしたときの圧力である。これは右図のように先端に穴の開いた管を流れに対して平行に置くことによって測定される。この場合は管の先端では $v=0$ であるから、 P_2 は総圧である。

静圧は左図のように側面に穴が開いている管によって測定される。この場合は、管の側面上では流体の速度をもともとの大きさ v とみなすので P_1 は静圧である。厳密には管の側面に流れの境界層ができるので境界層での流速は0である。しかし境界層の厚さ方向の圧力分布はほとんど一定で、境界層の外側の圧力はそのまま境界層の同じ位置に加わると考えて、流速 v の圧力が側壁に反映するとみなすことができる。

5-1 $P_2 - P_1 = \text{総圧} - \text{静圧} = (\text{静圧} + \text{動圧}) - \text{静圧} = \text{動圧}$ である。

5-2 圧力 P_2 は総圧であるから、 $P_2 = \text{静圧} + \text{動圧} = P_1 + (1/2)\rho v^2$ である。

【問題6】 材料が外力を受けたときに示す挙動に関する記述で正しいのはどれか。

番号を解答欄 にマークせよ。[6]

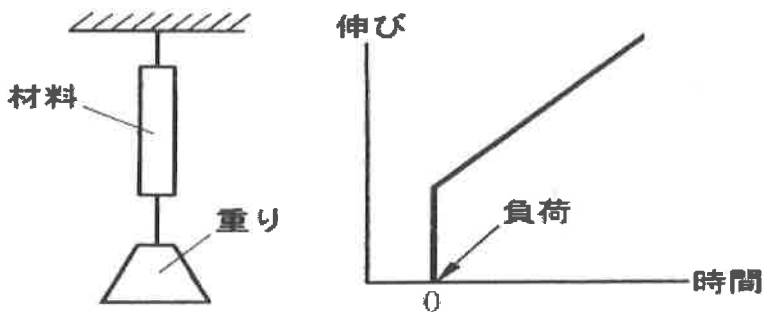
- a. 外力を取り除くと元の状態に復元する性質を弾性と呼ぶ。
- b. 外力を取り除いても元の状態に復元しない性質を靱性と呼ぶ。
- c. 一定の外力を加えた状態で変形を続ける性質をクリープと呼ぶ。
- d. 外力に対して粘り強く、衝撃によく耐える性質を脆性と呼ぶ。
- e. 流動体が外力に抵抗する性質を延性と呼ぶ。

- 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

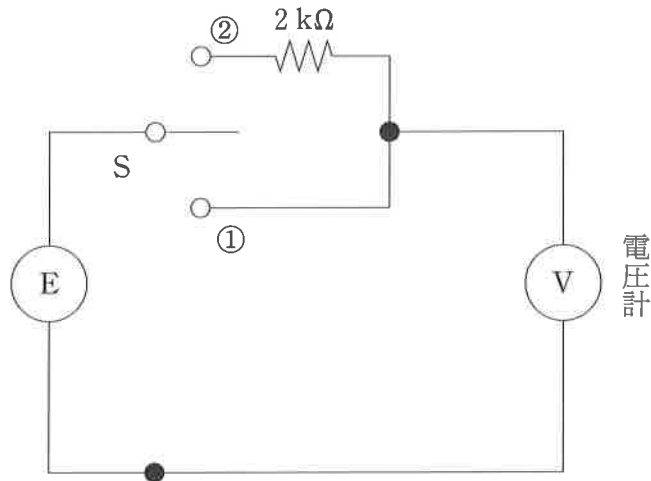
[正解] ① = 2)

[解説]

- a. 外力によって材料にひずみが生じて、外力を取り除けば完全になくなって元の形に戻る性質を弾性と呼ぶ。この場合のひずみは、材料の構造がひずむだけであって隣り合っている原子の移動を伴わないので原子間の結合が切れない現象である。
- × b. 外力によって生じた材料のひずみが外力を取り除いた場合に完全に消失せず、元の形に戻らない性質は塑性という。これは弾性とは逆の性質で、材料内では外力が隣り合っている原子を動かすほどに大きくなるために変形が残る。靱性とは、粘り強い材料で衝撃に耐える性質のことである。靱性が大きい材料は、破断するまでに要するエネルギーが大きく、弾性限界を超えても容易に破断しない。
- c. 下図のように、物体に一定の引張り力を加えたままにしておくと材料が無限に変形していくが、これをクリープと呼ぶ。
- × d. 外力に対して粘り強く、衝撃によく耐える性質は靱性である。脆性とは靱性の逆で、材料が外力に対して弱く脆い性質である。材料は一般的に低温では脆くなるものが多い。
- × e. 流動体が外力に抵抗する性質は粘性である。延性とは材料に引っ張り荷重を加えて、線状に細く引き伸ばすのできる性質である。



【問題 7】 一定電圧の電源 E に内部抵抗が未知の電圧計を図のように接続した。スイッチ S を①側に倒したとき電圧計は 100 V，S を②側に倒したとき 98 V を指示した。この電圧計の内部抵抗はいくらか。解答欄 に記入せよ。[6]



【正解】 ㉞ = 98 kΩ

【解説】 電圧計の内部抵抗を $R\text{k}\Omega$ とすると

スイッチ S を①側に倒したとき

$$(E/R) \times R = 100\text{ V} \quad \cdots\cdots\text{①}$$

スイッチ S を②側に倒したとき

$$(E/(R+2\text{ k}\Omega)) \times R = 98\text{ V} \quad \cdots\cdots\text{②}$$

①より $E=100\text{ V}$ 。よって②より

$$(100\text{ V}/(R+2\text{ k}\Omega)) \times R = 98\text{ V}$$

$$100 R = 98 R + 196$$

$$2 R = 196$$

$$R = 98$$

内部抵抗 98 kΩ

【問題8】 図1に示す電圧信号を図2に示す回路の入力端子に入力した。概略出力波形はどれか。番号を解答欄 ⑧ にマークせよ。ただし、抵抗 R 、コンデンサ C はそれぞれ $1\text{ k}\Omega$ 、 $1\text{ }\mu\text{F}$ であり、信号入力前にコンデンサ C には電荷がチャージしていないものとする。[6]

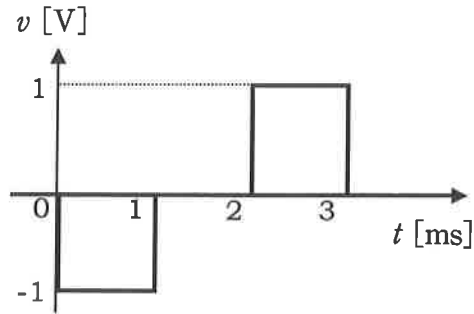


図1

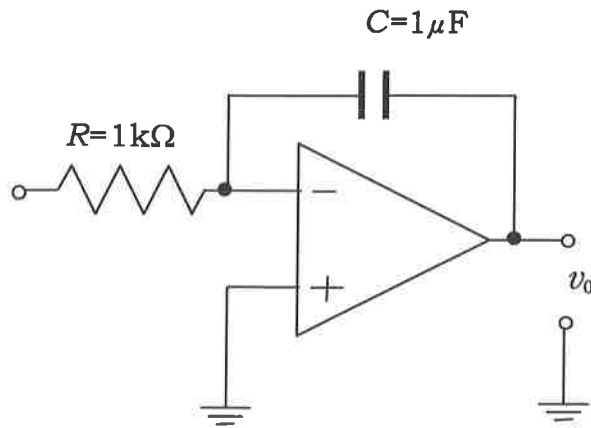
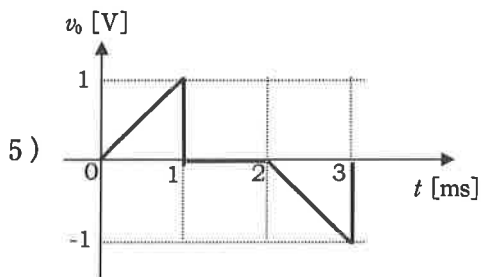
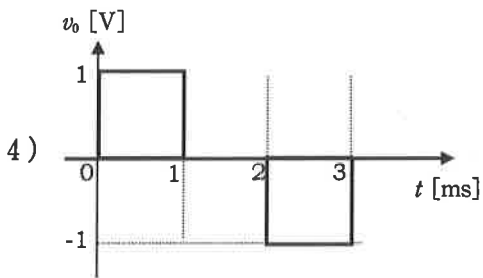
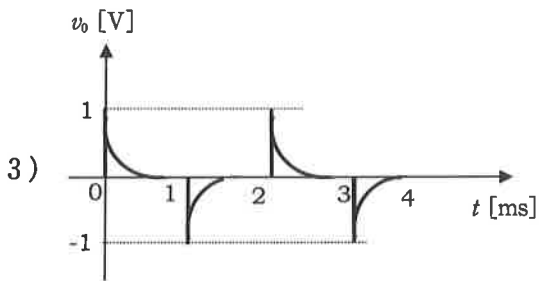
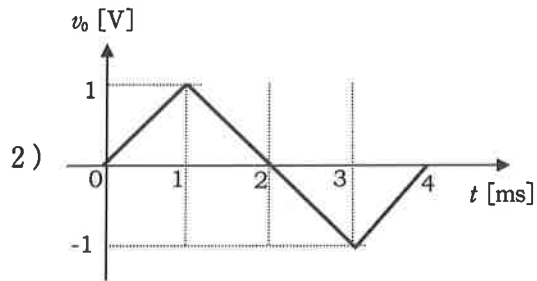
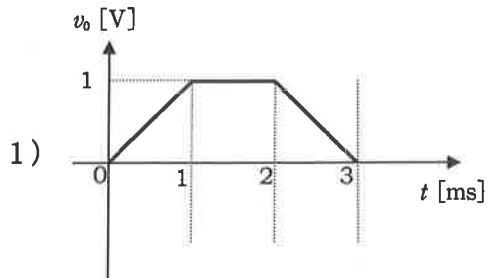


図2

第12回午前の部



【正解】⑧=1)

【解説】図2に示される電子回路は積分器と呼ばれる回路で、出力信号は入力信号を積分した値を示す。

まず始めにこの回路の動作原理を説明する。動作原理の説明には色々考えられるが、ここでは最も一般的な仮想接地（イマジナリーショート）を用いた説明方法を採用することにする。

ICは理想的なものとすると、ゲインは無限大であるためプラス端子の電位とマイナス端子の電位が等しくなる。プラス端子の電位は零ボルトであるからマイナス端子の電位も零ボルトとなる。したがって、入力信号 v_i を接続すると抵抗 R (1 k Ω) に流れる電流 i は

$$i = \frac{v_i - 0}{R} = \frac{v_i}{R} \quad (1)$$

で与えられる。理想ICの入力インピーダンスは無限大であるからこの電流はコンデンサ C に流れ込むことになりコンデンサに電荷 Q がたまりコンデンサの両端に電位差が生じることになる。コンデンサに蓄積した電荷量は

$$Q = \int_0^1 i dt = \int_0^1 \frac{v_i}{R} dt \quad (2)$$

したがって、コンデンサ両端の電位差は

$$v = \frac{Q}{C} = \frac{\int_0^1 i dt}{C} = \frac{\int_0^1 \frac{v_i}{R} dt}{C} = \frac{\int_0^1 v_i dt}{CR} \quad (3)$$

出力信号を v_0 とすると、コンデンサ両端の電圧はマイナス端子電圧と出力電圧の差となるから $v = 0 - v_0$ となるから

$$v_0 = -\frac{\int_0^1 v_i dt}{CR} \quad (4)$$

となる。なお、時定数 CR はちょうど 1 ms である。4式に図1に示された入力信号を代入する。

時間 0 から 1 ms までは入力信号がマイナス電圧であるため電流がコンデンサから流れ出る。したがって、コンデンサのマイナス端子側にマイナス電荷が一定の割合で時間と共に蓄積されることになる。出力側には等量のプラス電荷が蓄積されることになる。すなわち、出力電圧は時間と共に一定の割合で増加することになる。

時間 1 ms から 2 ms 間は入力電圧がゼロであるため電流が流れずコンデンサに溜まった電荷がそのまま保持される。

時間が 2 ms から 3 ms の間では、時間 0 から 1 ms までと逆符号の電圧が与えられたのであるから今まで蓄積していた電荷が蓄積した時と同じ割合で時間と共に放電し最終的にコンデンサに蓄積していた電荷量がゼロとなる。

【問題9】 下図 A, B についての説明で正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

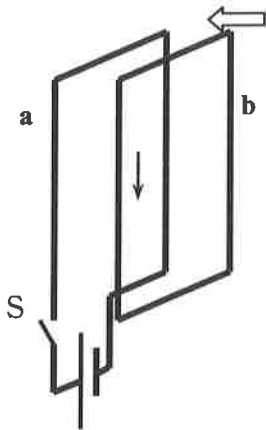


図 A

- スイッチ S を閉じた瞬間
- a) 回路 b に黒矢印 ↓ の方向の電流が流れた。
 - b) 回路 b に白抜き矢印 ← の方向に力が働いた。

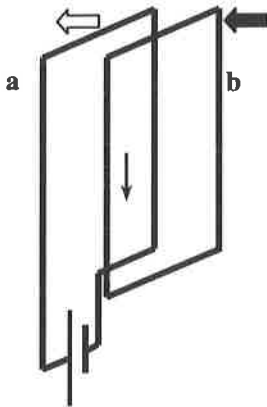


図 B

- 回路 a を白抜き矢印 ← の方向に動かした瞬間
- c) 回路 b に黒矢印 ↓ の方向に電流が流れた。
 - d) 回路 b に黒矢印 ← の方向に力が働いた。
 - e) 回路 b には何の変化も起きなかった。

- 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 = 3)

【解説】 aのコイルに電流が流れると右ねじの方向（電流方向はねじの進む方向）に磁界が生じる。磁界に変動が生じるとbのコイルに電流が流れ磁界の変動を打ち消す方向に磁界が生じる。

スイッチを閉じるとステップ状に電流が流れる。すなわち、ステップ状に磁界がコイルaに生じるため、コイルbにコイルa内の電流と逆向きの電流がステップ状に流れ、コイルa内の電流による磁界を打ち消す方向の磁界が生じる。

次にコイルaを左の方向に移動させるとコイルb内の磁束が減少するためコイルb内にコイルaと同方向の電流が流れ磁束の減少を妨げようとする。また、この時コイルbに左方向の力が働くことになる。

【問題 10】 生体電気増幅器の入力インピーダンスを大きくすることの説明で正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。〔6〕

- 1) 大きな増幅率を得るため。
- 2) 電極リード線に混入してくる誘導雑音を減少させるため。
- 3) 電極接触インピーダンスが変化しても、同相信号除去比を大きく保つため。
- 4) 生体の信号源インピーダンスと同等にするため。
- 5) 増幅器の動作電流を減らし、低消費電力化するため。

【正解】 ⑩ = 3)

【解説】 生体電気増幅器は、信号源（生体）が持つ同相信号（主に雑音）を除去するために差動増幅器を用いている。差動増幅器の同相信号除去比（弁別比）を大きくするためには、増幅器の二つの入力回路が電氣的に対称となることが重要である。それに対し、生体電極は接触面の状態が時間と共に変化しがちであり、それに連れてインピーダンスが変化する。そこで、生体電気増幅器の入力インピーダンスを大きくしておけば、電極インピーダンスが変化しても相対的に対称性が維持され、同相信号除去比の減少を防ぐことが出来る。

- × 1) 回路の入力インピーダンスは増幅器の増幅率には関係しない。
- × 2) 電極リード線に混入する雑音は、入力インピーダンスが大きいほど出力振幅は大きくなる。
- 3) 電極インピーダンスに比較し、入力インピーダンスは何桁も大きくしている。
- × 4) 生体の信号源インピーダンスは、電極も含めて数十 k Ω 以下である。
- × 5) 入力インピーダンスは、増幅器の動作電流に大きな影響はしない。

【問題 11】 図に示すように、透磁率が十分大きな磁性体による磁気回路に空隙を設けて、空隙に一樣な平行磁界を作りたい。

まず、磁気抵抗 R_m [H^{-1}] は、

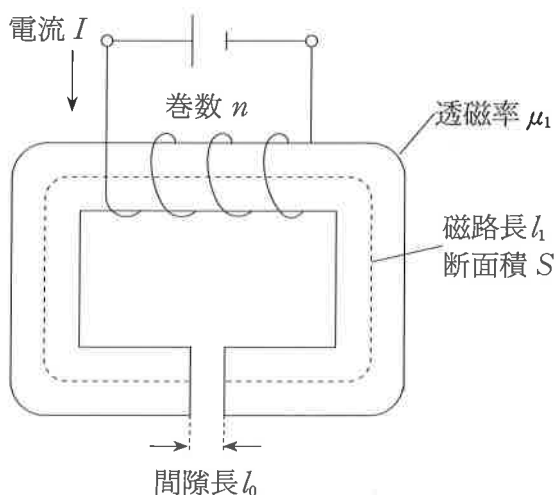
$$R_m = (1/\mu) \cdot (l/S) \text{ [ただし、} \mu \text{: 透磁率, } l \text{: 磁路長, } S \text{: 磁路断面積]}$$

で表せる。図の磁気回路は、磁性体部分と空隙部分の 2 つの磁気回路で構成されている。真空中の透磁率を μ_0 、磁性体の透磁率を μ_1 とした場合の磁気回路の全磁気抵抗を求め、解答欄 に記入せよ。ただし、磁束はすべて磁性体の中を一樣に通る、また空隙において磁束の広がりはないものとする。[3]

次に、 n 回巻きのコイルに電流 I が流れるときの起磁力 F_m は $n \cdot I$ [A] で示され、起磁力 F_m [A]、磁気抵抗 R_m [H^{-1}]、磁束 Φ [Wb] の間には磁気回路のオームの法則、

$$F_m = R_m \cdot \Phi$$

が成り立つ。この関係を用いて図の磁気回路につき、空隙の磁束密度 B [T] (= B [Wb/m²]) を求め、解答欄 に記入せよ。[3]



$$\text{〔正解〕 } \textcircled{G} = \{R_m = (l_0/\mu_0 + l_1/\mu_1)/S\}$$

$$\textcircled{H} = \{B = n \cdot I / (l_0/\mu_0 + l_1/\mu_1)\}$$

〔解説〕 磁気回路については電気回路ほど問題に採り上げられない傾向があるが、電気回路と同様な考え方ができることが多い。問題文にあるとおり、磁気抵抗は電気抵抗の式の中に出てくる導電率 ρ の代わりに透磁率 μ の逆数で置き換えたもので表せるし、起磁力はコイルを流れる電流そのもの（ただし、コイルが n 回巻きのときは n 倍）であって、さらに磁気回路の起磁力、磁気抵抗、磁束の間には電気回路のオームの法則と同様な関係がある。以上の関係は問題文に示してあるから、あとは2つの抵抗の直列結合や磁束と磁束密度の関係を知っていれば、問題文に従って式を立てて自然に解答に到る筈である。

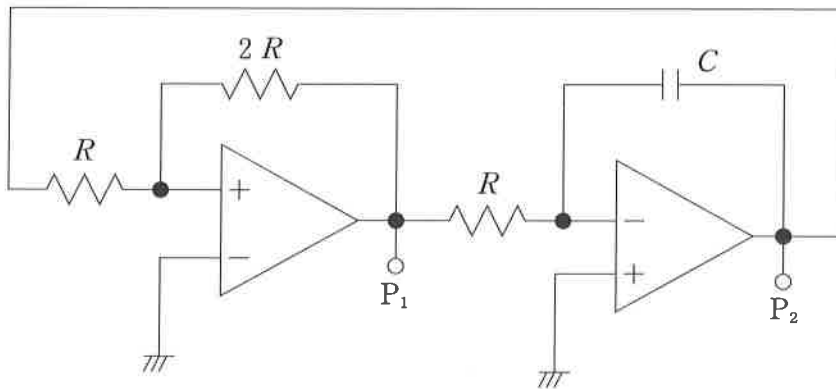
この磁気回路は一様な断面積の磁性体部分と十分に狭い空隙とが直列に結合されているので、回路全体の磁気抵抗はこれら2つの部分の磁気抵抗の和となる。空隙では磁束が広がらないとの仮定から断面積は磁性体部分と同じと考えてよく、それぞれの部分の透磁率、断面積、磁路長が与えられているので直ちに \textcircled{G} の答が得られる。この磁気回路には巻数 n 、電流 I のコイルで起磁力が加えられおり、磁気回路のオームの法則と、磁束密度 $B[\text{T}]$ が $\Phi/S[\text{Wb/m}^2]$ であることを用い、全磁気抵抗 (\textcircled{G} の答) を R_T として、

$$B = F_m / (R_T \cdot S)$$

を計算すれば \textcircled{H} の答が求まる。

【問題12】 図の発振回路の P_1 および P_2 で観測される波形で正しい組み合わせはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、オペアンプの動作は理想的なものとする。[6]

- | P_1 | P_2 |
|----------|-------|
| 1) 正弦波 | 正弦波 |
| 2) 正弦波 | 三角波 |
| 3) 正弦波 | 方形波 |
| 4) 三角波 | 正弦波 |
| 5) 三角波 | 方形波 |
| 6) 三角波 | 三角波 |
| 7) のこぎり波 | 方形波 |
| 8) 方形波 | のこぎり波 |
| 9) 方形波 | 三角波 |
| 10) 方形波 | 方形波 |



【正解】⑪＝9)

【解説】左のオペアンプの入力 (P_2 から切り離れた左の抵抗 R の左側) と出力 (P_1) の部分には、抵抗 $2R$ を通して正帰還がかかっている。初期状態として出力が負側の飽和状態にあり、入力が0付近から正の方向に増加して行き、絶対値で負側の飽和出力電圧の半分の正の電圧を越えると出力は突然、負側の飽和出力電圧から正側の飽和出力電圧へと移行する。それ以上の入力電圧では正側の飽和出力電圧を保持する。入力電圧が負側へ低下しても絶対値で正側の飽和出力電圧の半分の負の電圧に達するまではこの正側の飽和電圧を保持するが、これを越えると出力は突然、正側の飽和出力電圧から負側の飽和出力電圧へと移行する。正側と負側の飽和出力電圧の (-0.5) 倍を入力の閾値とする、非常に大きなヒステリシスを持ったシュミットトリガの動作を行い、出力は正側の飽和出力電圧と負側の飽和出力電圧の2つの状態のみで安定する。つまり、方形波よりほかは出力し得ない。他方、右のオペアンプの入力 (P_1 から切り離れた右の抵抗 R の左側) と出力 (P_2) の関係はよく知られるように積分である。これら2つの回路を問題中の図のように互いに出力と入力を接続すると発振状態になるが、例えば P_2 が負の場合を初期状態として回路の動作を考えると、このとき P_1 は負の飽和出力電圧 (一定値) になっているので、右の積分回路は負の定数を入力として積分し、また出力は反転しているので、出力 P_2 の電圧は正方向に直線的に増加して行き、いずれは左側の回路の正の閾値電圧 (=左側のオペアンプの負の飽和出力電圧の半分) に達する。そうすると左側の回路の出力 P_1 は突然、負の飽和出力電圧から正の飽和出力電圧へと遷移する。これにより右側の積分器の出力 P_2 の電圧は負方向に直線的に減少して行き、そのうちに左側の回路の負の閾値電圧 (=左側のオペアンプの正の飽和出力電圧の半分) に達し、 P_1 を反転させ、以後同様のプロセスを繰り返す。ここで、出力 P_2 の上り勾配の大きさと上り勾配が続く時間幅は左のオペアンプの負側の飽和出力電圧の大きさで決まり、その間は出力 P_1 が左のオペアンプの負側の飽和出力電圧に固定され、また、出力 P_2 の下り勾配の大きさと下り勾配が続く時間幅は左のオペアンプの正側の飽和出力電圧の大きさで決まり、その間は出力 P_1 が左のオペアンプの正側の飽和出力電圧

に固定される。とくに指定されない限り、オペアンプの正側および負側の電源電圧の大きさを等しくとるので、オペアンプの正および負側の飽和出力電圧の大きさはほぼ等しくなり、従って、これら2つの過程での勾配の大きさや時間幅はほぼ等しく、 P_1 は方形波を出力し、 P_2 は3角波を出力することになる。もし、正側および負側の電源電圧の大きさが異なれば、 P_1 の方形波のデューティ比が1/2からはずれ、それに伴い P_2 の3角波はのこぎり波に近づくことになる。

【問題 13】 非接触データキャリア RFID を医療分野に利用することが検討されているが、次の記述で誤っているのはどれか。番号を解答欄 ⑫ にマークせよ。[6]

- 1) 金属や水があると読み取れない場合がある。
- 2) 方向によっては読み取りにくい場合がある。
- 3) IC チップと微小アンテナで構成されている。
- 4) 高圧蒸気滅菌に耐える製品が既に開発されている。
- 5) 周波数帯は小電力医用テレメータと同一である。

【正解】 ⑫ = 5)

【解説】 RFID は、Radio Frequency IDentification の略で、IC タグとリーダライタから構成される。IC タグには微小アンテナがあり、リーダライタからの電磁誘導や電波により、電力供給と相互のデータ送信を行うことが可能となる。

このため、電磁誘導や電波を遮るような金属や水が IC タグに近接して存在したり、アンテナと IC タグの面の位置関係の角度が大きくなると読み取り低くなる。

また、最近では、200°Cの耐熱だけでなく、耐水性、耐薬品性などにも優れている IC タグも市販されており、高圧蒸気滅菌にも充分対応可能である。

現在、日本国内で利用できる RFID の周波数帯は、物品管理や物流管理、物品追跡システム、セキュリティ管理などの目的によって 135 kHz 帯、13.56 MHz 帯、950 MHz 帯、2.45 GHz 帯の 4 つが使い分けされているが、医療用の小電力医用テレメータの周波数（420 MHz～450 MHz 帯）と異なるものの、植込み型医用機器（心臓ペースメーカや除細動器など）が RFID に近接すると、機能に影響を及ぼす恐れがあるため注意しなければならない。

以上の説明から、記述の正解は 5) となる。

【問題 14】 WWW システムに関する略語とその説明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. HTTP : Web ブラウザとサーバ間でデータを交換するために使われるプロトコル
- b. SGML : 文書の要素をタグ付けして体系化する枠組みの ISO 規格
- c. XML : HTML のマルチリンク機能を簡略化したページ記述言語
- d. CGI : Web ブラウザがサーバからの要求によって他のプログラムとデータを送受信するためのインタフェース
- e. SSL : Web ブラウザと Web サーバ間でデータ転送を安全におこなうためのプロトコル

- 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 = 8)

[解説]

- a. HTTP (HyperText Transfer Protocol) は, HTML (HyperText Markup Language) で記述された Web ページデータを Web サーバと Web ブラウザ間で送受信するために使われる通信規約である。
- b. HTML は, もともと SGML (Standard Generalized Markup Language) の部分集合として制定されたが, 現在では多くの機能が追加され独自の拡張が行われている。
- × c. XML (eXtensible Markup Language) は拡張可能なマークアップ言語で, 独自に意味づけしたタグを自由に追加することが可能になっている。Web ページだけでなくさまざまな電子文書の定義に使うことができる。医療情報交換のための MML (Medical Markup Language) も XML の応用例である。
- × d. CGI (Common Gateway Interface) は, Web サーバが Web ブラウザのから要求によって他のプログラムとデータを送受信するためのインタフェースである。問題文の記述はサーバとブラウザが逆になっている。
- e. SSL (Secure Socket Layer) は, インターネット上でのデータ伝送の安全性を確保するために開発されたセキュリティ規約で, データを暗号化して盗聴や改ざんを防ぐ。OSI モデルでいうセッション層とトランスポート層の境界で動作するプロトコルで, WWW や ftp などのアプリケーションで共通に利用できる。

【問題 15】 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]

- 1) スター型の接続形態は、大規模の LAN に適している。
- 2) バス型の LAN では、一本の基幹ケーブルにノード(コンピュータや端末)をくし状に接続する。
- 3) CSMA/CD 方式は、送信データの衝突を回避するために使われるアクセス制御方式である。
- 4) リング型の LAN で使われるトークンリング方式では、送信データの衝突は原理的に発生しない。
- 5) メッシュ型の接続では、ノードの増設によって配線数の増加が問題となる。

【正解】⑭= 4)

【解説】LAN (Local Area Network) の接続形態 (トポロジー) に関する問題である。

- ×1) スター型では、ノード (コンピュータや端末) が追加されるごとに中心ノードからケーブルが必要になるため、大規模 LAN には向かない。バス型やリング型のほうが適している。
- 2) 問題文のとおりである。
- 3) CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection) は、バス型 LAN であるイーサネットにおける基本的な通信手順として使われてきた。ノードはネットワークの状態を確認してデータを送出する。データの衝突が確認された場合は、ランダムな一定時間だけ待機して再送を試みる。
- 4) ノードはネットワークを巡回しているフリートークンと呼ばれる特殊なデータを受け取れた場合だけデータを送信できる。したがって、データの衝突は原理的にありえない。
- 5) メッシュ型では基本的にネットワークを構成する各ノード間を直接連結するので、ノード数が多くなると配線が膨大になる。通信量の多いノード間だけに限定して直接接続する場合もある。

【問題 16】 誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) COBOL は事務処理や会計計算に適したプログラム言語である。
- 2) Java は機種に依存しないオブジェクト指向のプログラム言語である。
- 3) C はインタープリタ言語の一つである。
- 4) Linux はオープンソースのオペレーティングシステムである。
- 5) TRON は日本で開発されたオペレーティングシステムである。

【正解】 ⑮ = 3)

【解説】

- 1) COBOL は、Common Business Oriented Language の略であることから示されるように事務処理や会計計算に適したプログラム言語である。ソースプログラムをコンパイラでコンパイルして、実行用のプログラム(オブジェクトプログラム)を生成する。
- 2) Java は機種や Windows や Macintosh のような OS (オペレーティングシステム) に依存せずに動作する言語であることを最大の目的としてサンマイクロシステムによって開発された。さらにオブジェクト指向でもあるプログラム言語で、OS や機器毎にプログラムを開発しなくてすむので効率がよい。ブラウザーなどのアプリケーションには、Java のプログラムを解釈実行できるインタープリター機能を備えたものも増えてきている。
- × 3) インタープリタ言語の代表格は、BASIC であり、C や C++ は実行前にコンパイルすべきコンパイラ型である。人間に理解しやすい高級言語を、構文解析や文法的論理的誤りを調べ、コンピュータが高速演算するのに適した中間言語(アセンブリ言語等)や機械語命令セットにして、さらに効率化/高速化/省メモリエリア化することを最適化というがこれら一連の処理を予めまとめて行う事をコンパイルと言う。
- 4) Linux はオープンソースの OS である。さらに基本 OS が無料であるので、インストールしやすいように CD-ROM や DVD にパッケージされた有料

のキット（ディストリビューションとも呼ぶ。有料でパッケージを販売している機関をディストリビュータと言う。）も他の商用 OS と比して廉価である。OS 利用によるトラブルや誤動作による損害には一切応じず、自己責任であることは、他の商用 OS (Windows や Macintosh) と全く同様である。Linux のみが自己責任であり、損害賠償に応じないかのような誤解が多いが、それは間違いである。

- 5) TRON は日本で開発されたオペレーティングシステムで、The Real-time Operating system の頭文字である。1984 年に東京大学の坂村健によって開発プロジェクトが提唱され、発展してきた。プロジェクトによる OS はさらに細分され、家電などに組み込むための ITRON、サーバーやパソコン用の BTRON、Java を活用するための JTRON、ユビキタスコンピューティングをめざす eTRON などがある。これらの OS に対応した IC であるトロンチップも活用されている。

【問題 17】 コンピュータの記憶媒体で追記できないものはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) DVD-R
- 2) DVD+R
- 3) DVD-RW
- 4) DVD-RAM
- 5) DVD-ROM

【正解】 ⑩ = 5)

【解説】 記録用 DVD のフォーマットには DVD-R, DVD+R, DVD-RW, DVD+RW が存在しており, DVD-R は記録容量が 4.7 GB で, 一度しか書き込みできないが, DVD-RAM は書き込んだ後に消去も追加書き込みも可能で, 片面用と両面用が存在している。またトラック構造が最も複雑で専用のケースから取り出して使わないような仕様のタイプもある。

その後, データを書き込んだ後に消去も出来る DVD-RW が開発され, データ記録用に普及している。さらに最近では DVD-R にも DVD-R (DL) 2 層に記録できるタイプのもも一般化してきているのでディスクの選択やドライブの選択には注意を要するが, あらゆるメディアを読み書きできるマルチディスクドライブが一般化しようとしている。DVD-ROM はデータを記録することはできずソフトウェアやゲームソフトの配布, 映画観賞用に用いられる。

また記録容量を大きくするために, 波長の短いブルーレイディスクも普及しつつあり, 2 層に記録できるタイプでは約 50 GB の容量を有している。同時に現在の DVD に近い構造を持ち, 波長の短い HD-DVD も最近商品化された。

これらの様々な DVD の規格はコンピュータの記録だけではなく民生用 DVD レコーダとしても普及しつつある。

【問題 18】 情報通信における暗号技術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. 共通かぎ暗号方式では通信相手が多くなってもかぎの管理が容易である。
- b. DES (data encryption standard)暗号は共通かぎ暗号方式である。
- c. 公開かぎ暗号方式では、暗号用と復号用で異なるかぎをペアとして使用する。
- d. 公開かぎ暗号方式では、暗号用と復号用の両方のかぎを公開する。
- e. 公開かぎ暗号方式は、送信者の正当性を認証するために使うこともできる。

- 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】⑰＝3)

【解説】現在一般に使用されている暗号方式は、共通かぎ暗号方式と公開かぎ暗号方式、および両方を組み合わせたハイブリッド方式に大別される。共通かぎ方式では、暗号化と復号に共通の秘密かぎを使う。一般に暗号化・復号のための処理量が少なく、多量のデータを一括処理する必要がある場合に適している。しかし、通信相手ごとにかぎを作成し管理する必要があるため、不特定多数を相手とする通信には適さない。DESは1977年から米国で標準規格として使われた56ビットのかぎを使う共通かぎ暗号であるが、その後解読可能であることが報告され、現在ではDESに代わる新しい共通かぎ暗号が標準になっている。一方、公開かぎ方式では、暗号化用と復号用に非対称のかぎを使うことによって、一方を秘匿すれば他方を公開することができる。受信側で復号用のかぎを秘匿しておけば、暗号化用のかぎを公開できるので、不特定多数との通信で個別にかぎを生成し管理する必要がない。また、送信者側が作成した秘密のかぎで自分の署名を暗号化し、受信者側に復号用のかぎを公開することによって、送信者の認証を行なわせることができる（デジタル署名）。しかし、一般に暗号化・復号に必要な処理量は共通かぎ方式に比べ多くなり、大量データの一括処理には適さない。

【問題19】 JIS T 0601-1において、タッチプルーフ構造を求められていないものはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 輸液ポンプ用滴下センサ接続端子
- b. 体外式ペースメーカー用カテーテル電極端子
- c. 植込み型心臓ペースメーカー用電極リード端子
- d. 心電図電極コード接続端子
- e. 除細動器用電極コード接続端子

- 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＝2)

【解説】JIS T 0601-1において、“装着部に接続する患者コードのコネクタ部は大地または危険な電圧に接触できない構造とすること”と規定されている。すなわち、“患者コードの本体部への接続コネクタは、金属部がむき出しではいけない”ということで、このことを、通常“タッチプルーフ”機構という。したがって、設問においては、タッチプルーフ構造を求められていないものということなので、患者への接続端子ではないもの、もしくは端子に接触できないものを選択すればよい。

- × a. 輸液ポンプ用滴下センサ接続端子は、患者への接続端子ではないので、タッチプルーフ構造を求められていない。
- b. 体外式ペースメーカー用カテーテル電極端子は、患者への接続端子なので、タッチプルーフ構造を求められている。
- × c. 植込み型心臓ペースメーカー用電極リード端子は、患者への接続端子であるが、体内に植え込むもので、植込み時以外は端子に接触できないので、タッチプルーフ構造を求められていない。
- d. 心電図電極コード接続端子は、患者への接続端子なので、タッチプルーフ構造を求められている。
- e. 除細動器用電極コード接続端子は、患者への接続端子なので、タッチプルーフ構造を求められている。

【問題 20】 植込み型心臓ペースメーカーへの影響を考えなくてもよいとされているものはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. EAS 機器
- b. RFID 機器
- c. X線 CT 装置
- d. 超音波診断装置
- e. レーザ治療器

- 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=10)

[解説] 各種電磁波利用装置による植込み型心臓ペースメーカーへの影響に関しては、総務省から出された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。また、電磁波も含めて植込み型心臓ペースメーカーへの影響が確認されたものに関しては、厚生労働省からの通達等が出されている。

- a. EAS (Electronic Article Surveillance : 電子商品監視) 機器による影響で、実際に植込み型心臓ペースメーカーの設定がリセットされたという事例が報告されている。
- b. RFID 機器に関しても EAS 機器のような不可逆的な影響が見られることが確認されている。
- c. X線 CT 装置については、最近になって、植込み型心臓ペースメーカーへの影響が確認された。また、一般的な X線装置でも照射角度ならびに照射強度によって影響が出る可能性があることも指摘されている。
- × d. 超音波診断装置は、電磁波ではなく超音波を照射する装置なので、植込み型心臓ペースメーカーへの影響はない。
- × e. レーザ治療器から照射されるレーザー光線は、体内に植え込まれたペースメーカーには到達しないため、影響は及ばない。

【問題 21】 JIS Z 8115 ディペンダビリティ(信頼性)用語における“冗長(redundancy)”に関する定義で正しいものはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) システム有効度を，システムのライフサイクルで必要となる費用の総額で除した値
- 2) 信頼性を改善するために，計画的にストレスを軽減する行為
- 3) フォールトが存在しても，性能機能を下げながらアイテムが要求機能をし続ける性質
- 4) アイテム中に，要求機能を遂行するために二つ以上の手段が存在する状態
- 5) アイテムが故障したとき，定められた一つの安全な状態をとるような設計上の性質

【正解】 ② = 4)

【解説】 本 JIS でいう冗長とは，アイテム中に要求機能を遂行するための二つ以上の手段が存在する状態をさす。代表的な冗長方法として，①常用冗長（例：予備装置を並行動作させ 1 台が故障しても動作が継続できるようにした方法）②待機冗長（例：予備装置を待機させ，故障時に予備機に切替え，動作を継続させる方法）③(m/n)冗長（例：n 個の要素構成中，少なくとも m 個が正常ならば動作を継続する方法）④三重多数決冗長（例：構成要素を三重化して，二つが合致すれば正常とする多数決方法）などがある。

- × 1) コスト有効度 (cost effectiveness) の定義である。
- × 2) ディレーティング (derating) の定義である。
- × 3) フェールソフト (fail soft) の定義である。
- 4) 上記の解説文どおり正解である。
- × 5) フェールセーフ (fail safe) の定義である。

【問題 22】 部品 A が 100 個，部品 B が 10 個，部品 C が 2 個で構成された装置がある。部品の故障率をそれぞれ A：0.01，B：0.50，C：2.0(%/1000 h)としたとき，この装置の MTBF はほぼ何時間か。番号を解答欄 にマークせよ。なお，故障はランダムに発生し，一つの部品の故障が装置の故障となるものとする。[6]

- 1) 100
- 2) 400
- 3) 5000
- 4) 10000
- 5) 40000

【正解】 ⑳ = 4)


【解説】 故障がランダムに発生 (=故障率が一定) する場合には， $MTBF = (1/\text{装置の故障率})$ の関係がある。したがって MTBF は，まず装置の故障率を計算し，その逆数から算出できる。

ここで，装置の故障率は，機器を構成する総部品の故障率の総和から求められるので

$$\begin{aligned}\text{装置の故障率 (\%/1000 h)} &= (100 \times 0.01) + (10 \times 0.50) + (2 \times 2.0) \\ &= 1.0 + 5.0 + 4.0 = 10.0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}MTBF &= 1/\text{装置の故障率} = 1/10.0 (\%/1000 h) \\ &= 1/10.0 \times 10^{-5} = 10,000 (h)\end{aligned}$$

したがって，MTBF は 10,000 時間となる。

【問題 23】 下図の図記号の意味を ME の専門でない医療従事者にも分かるように、50 字以上 100 字以内で解答欄  に記述せよ。〔6〕



【正解】

「耐除細動形の CF 形装着部の図記号で、心臓に直接適用できる装着部であって、かつ除細動時に掛かる高電圧によって、有害な事象が発生するおそれがないような保護がなされている装着部であることを意味している。」(98 字)

キーワードとして「耐除細動形」、「CF 形装着部」「心臓に直接適用」「除細動時の高電圧」「有害な事象」「影響」「保護」などが入っていればよい。

【解説】 問題の図記号は「耐除細動形（除細動保護付でも可）の CF 形装着部」であるが、JIS T 0601-1 では、「耐除細動形装着部」は次のように定義されている。

「2.1.27 耐除細動形装着部 (DEFIBRILLATION-PROOF APPLIED PART)：患者への除細動器の放電による影響に対する保護をもつ装着部。」

また、耐除細動形装着部への要求事項として次が規定されている。

「17 h) 耐除細動形装着部を他の部分から絶縁するために使用する配置は、次のように設計する。

一耐除細動形装着部を接続した患者に対して除細動器の放電中に、次の部分に危険な電気エネルギーが現れてはならない。

- ・外装（導線及び接続器の接触可能な表面を含める。）
- ・あらゆる信号入力部。
- ・あらゆる信号出力部。
- ・試験のために機器を置く、少なくともその機器の底面積に等しい面積をもつ金

属はく。

一除細動電圧を加えた後、附属文書に記載された必要な回復時間経過後に、機器は附属文書に指定しているその意図された機能を遂行し続けなければならない。」

定義の中の「患者への除細動器の放電による影響」は、17のh)を見ると、除細動時に「危険な電気エネルギーが現れないこと」と「除細動後、機器は附属文書に指定しているその意図された機能を遂行すること」を要求しているので、除細動時およびその後に安全性と機能を損なわれないような装着部を意味しているものと解釈できる。

よって、医療従事者に説明するときに「除細動器を掛けても内部回路が壊れない機器」という表現を用いてもいいだろう。

【問題 24】 医療機器の故障解析で設計の不完全さや潜在的な欠点を見出し、それがどのような結果を招くかを調査・解析する手法を何と言うか。番号を解答欄

に記入せよ。[6]

- 1) event tree analysis
- 2) fault tree analysis
- 3) failure mode effects analysis
- 4) plan do check action
- 5) root cause analysis

[正解] ㉒ = 3)

[解説] 事故の原因分析や対策検討や信頼性を検討するために用いられる手法に関する用語の問題である。

- × 1) システムの事故をまねく原因となる望ましくない事象（システムの構成要素の故障やシステム自体の不調など）の初期事象を分析作業のスターティング・ポイントとし、その初期事象が最終的にもたらす結果に至までの各段階の問題点を分析する手法である。これにより初期事象が発生した場合に設計上とられている安全対応策がどのように機能するのかを分析するものである。
- × 2) 故障の樹と呼ばれ、起こりうる事故や故障の原因を事前（事後）に探求するために、それぞれの事象をその直前の事象の理論積や理論和で記述し、最終的な原因まで分析する手法のことである。これにより発生が好ましくない事象について、発生経路や発生原因が解析できる。また、定量データを入れることによって、その事故の故障の確率的な可能性を分析できる。
- 3) 機器やシステムの部品の一部に損傷、不完全さ、潜在的な欠点がある場合、どのような悪影響が発生し、周囲やシステムの機能にどのような悪影響を招くかを表形式で調査、分析する手法のことである。これにより全体像の把握ができるため根本的対策を立てるのに有用である。信頼性工学でも用いられる。
- × 4) 品質の維持と改善を効率よく実現するために、plan（計画立案）→ do（実行）→ check（結果の調査）→ action（必要な処置）のサークル（PDCA）を回して行う管理技術の手法のことである。
- × 5) 根本原因分析のことで、死亡あるいは重大的な身体的、機能的傷害を、予期し得ない形で生じた、あるいは生じ得た事例の潜在的エラーやシステム障害を解明するための定性的分析法の一つである。基本的にはFTA（故障の樹）と同じで、背後に潜むシステムの問題とヒューマンファクタを明らかにする手法である。

【問題 25】 放射線の生体に対する作用で誤っているのはどれか。番号を解答欄

に記入せよ。[6]

- 1) α 線は γ 線より生体に対する作用が強い。
- 2) ヒトの 50%致死線量は数 100 rad である。
- 3) 細胞の X 線感受性は、無酸素状態のときに増強する。
- 4) 放射線による消化管障害死は、腸上皮細胞の脱落に起因する。
- 5) 自然界から受ける放射線の年間線量は、胸部 X 線撮影 1 回の線量を上回る。

[正解] ㉓ = 3)

[解説] 電離放射線の生体作用に関する基本的な事項を問う問題である。

- 1) 放射線の種類によって生物効果の効率が異なるが、これは組織に与えられるエネルギーが電離放射線の種類によって異なることを反映したものであり、これを線質という。電離放射線の線質は LET : linear energy transfer (線エネルギー付与) で表される。LET は飛跡に沿って失われる放射線エネルギーの平均値で、飛跡 $1\mu\text{m}$ あたり失うエネルギーを KeV で表す。電離放射線は、低 LET 放射線と高 LET 放射線に分類される。X 線、 γ 線、 β 線などは、低 LET 放射線に、また、 α 線、重イオン線、高速中性子線などは高 LET 放射線に属している。なお、昨年 の第 11 回試験の問題 30 の解説も参考にされたい。
- 2) 致死線量とは、その線量を被ばくすると死に至るような線量をさす。50% が死亡する線量を半致死線量 (LD_{50})、100% が死亡する線量を全致死線量 (LD_{100}) という。ヒトの 50% 致死線量 (LD_{50}) は、400-700 rad と推定される。
- ×3) X 線感受性とは、X 線による生物学的反応を誘発され得る性質のことである。X 線感受性に影響を与える因子として酸素、SH 化合物、ある種のアミノ酸、アルコールなどが挙げられるが、細胞の X 線感受性は、有酸素時に無酸素時の 2 ~ 3 倍に増強される。
- 4) 1000 ~ 20,000 rad の線量を被爆した場合、生存日数は線量によらずほぼ一定である。このときの死因は、消化管障害死であり、これは腸上皮腺窩に存在する幹細胞が障害され、腸上皮の代謝が停止し、結果的に腸上皮細胞死が誘発され、腸粘膜が剝離し、出血死にいたる。
- 5) 自然に発生する放射線は、宇宙線、大地からの外部放射線などがあり、これらの年間線総量は約 2 mSv と推定される。一方、胸部 X 線診断 1 回に必要な線量は 0.1 mSv 以下である。

【問題 26】 100 MHz の電磁波の透過深度の大きい順で正しいのはどれか。番号を解答欄 に記入せよ。[6]

- 1) 骨格筋 > 血液 > 骨
- 2) 骨 > 骨格筋 > 血液
- 3) 血液 > 骨格筋 > 骨
- 4) 血液 > 骨 > 骨格筋
- 5) 骨 > 血液 > 骨格筋

【正解】 ② = 2)

【解説】 電磁波の生体内への透過は主にうず電流（外部磁界の変動を阻止する方向に磁界を発生させる）によって支配されている。

うず電流損は電磁波の周波数の 2 乗に比例しているため、周波数の高い電磁波ほど透過深度が浅くなる。また、うず電流は逆起電力（電磁誘導による）によるので電流の流れ易い、すなわち導電率の高い組織ほどうず電流が大きくなるため、透過深度が浅くなる。

解答は導電率の低い順番ということで、2) が正解となる。

【問題 27】 生体組織における熱輸送は次の熱輸送方程式で表される。式中の F は何か。解答欄 に記入せよ。ただし、 T ：温度、 Q ：組織での熱発生量、 k ：熱伝導率、 ρ ：密度、 c ：比熱、 t ：時間、 x ：距離、添字 s ：組織、添字 b ：血液を表す。[6]

$$\rho_s c_s dT_s / dt = k_s d^2 T_s / dx^2 + Q_s - F \rho_b c_b (T_s - T_b)$$

【正解】 ①={血液量}，その他 {血流}，{血液流量} なども可

【解説】 熱の発生，流入，流出によって組織の温度がどう変わるかを記述する熱輸送方程式が問題中に示され，式の右辺第 3 項において， F で示される量は何かが問われている。負号がつくので温度を下げる方向であり，かつ，この項は組織温と血液温の差にも比例する。組織から熱を奪い去り，その大きさは温度にも依存するのであるから， F は血流量であることが容易に理解されるであろう。ちなみに，この方程式の左辺は温度変化を示し，それが右辺の 3 つの要素で決まることを示しており，右辺第 1 項は組織内熱伝導，第 2 項は組織での熱発生，第 3 項は血流による熱の運搬を表している。

【問題 28】 比誘電率が ϵ_s の生体組織内に電磁波が照射されると、波長が真空中に比べ約 $1/\sqrt{\epsilon_s}$ 倍に短くなる。周波数 2.1 GHz のとき、組織の比誘電率を 50 とすると組織中の波長はおおよそ次のどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 0.3 cm
- 2) 1 cm
- 3) 2 cm
- 4) 14 cm
- 5) 1 m

【正解】 = 3)

【解説】 損失の無い（導電率 $\sigma=0$ ）媒質中の電磁波伝搬速度 v は、媒質の誘電率を ϵ 、透磁率を μ として、 $v=1/\sqrt{\epsilon\mu}$ で表せる。真空中の誘電率を ϵ_0 、透磁率を μ_0 として、 $v=1/\sqrt{\epsilon_0\mu_0} \equiv c$ (光速) になる。媒質の比誘電率、比透磁率をそれぞれ $\epsilon_s (= \epsilon/\epsilon_0)$ 、 $\mu_s (= \mu/\mu_0)$ とすると、

$$v = c/\sqrt{\epsilon_s\mu_s}$$

と表すことができる。損失のある（導電率 $\sigma>0$ ）媒質中でも、伝搬速度 v は近似的にこの式に従い、生体組織の透磁率はほぼ真空中と同じと見てよく、比透磁率は 1 なので、

$$v \doteq c/\sqrt{\epsilon_s}$$

と表せる。伝搬速度が遅くなれば、同じ割合で波長も短縮される。

1 GHz を越す周波数で、生体組織の比誘電率 ϵ_s は、ほぼ水の比誘電率に近く、50~70 程度の値をとるので、伝搬速度も波長も、真空中の約 $1/7 \sim 1/8$ 程度となる。

真空中の電磁波波長は、1 GHz で 30 cm であり、2.1 GHz で 14 cm の程度である。従って、生体組織内では、その約 $1/7$ の 2 cm 程度となる。

【問題 29】 生体中の超音波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. 均一な生体組織内を伝播する超音波の強度は距離に対し指数関数的減衰特性を示す。
- b. 超音波の減衰は骨より脂肪のほうが大きい。
- c. キャビテーションは音圧が一定ならば周波数が低いほど生じ易い。
- d. 動脈の石灰化は血管壁内の音速を上昇させる。
- e. 生体組織内の超音波散乱は周波数の上昇とともに減少する。

- 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】②⑥＝7)

【解説】生体組織の中での超音波の伝搬のしかたなどについての雑多な問題である。

- a. 均一な媒質中での波動の減衰は一般的に、一定の距離を進むたびに一定の割合に減衰する。横軸に距離をとり、縦軸に波動の強度をとれば、0に漸近して行く指数関数曲線となる。「指数関数的減衰特性」の用語は一般には使われていないように思われるが、このことを表しているのは明らかであろう。
- × b. 生体組織の減衰係数（あるいは吸収係数）はよく調べられており、骨では10 dB/cm以上、脂肪組織では1 dB/cm以下で、明らかに脂肪のほうが小さい。
- c. キャビテーションのような機械力へのエネルギー変換は超音波周波数が比較的低い領域で顕著で、周波数の上昇とともに熱に転化される割合が大きくなる。
- d. 血管壁内の音速は血管壁の硬さに依存し、石灰化による動脈の硬化は音速の上昇をもたらす。
- × e. 一般に媒質中の波動の散乱は周波数が高いほど顕著になる。

【問題 30】 大動脈基部の直径が 2 cm, 最大血流速度が 50 cm/s のとき, 粘性率を $5 \times 10^{-3} \text{Pa} \cdot \text{s}$ とすると, 最大となるレイノルズ数はいくらか。番号を解答欄

㉓ にマークせよ。ただし, 血液の密度は水と同じとする。[6]

- 1) 10000
- 2) 2000
- 3) 500
- 4) 100
- 5) 10

【正解】 ㉓ = 2)

【解説】 レイノルズ数は流体の粘性のある流体を特徴づける固有の数値であり,

$$\text{レイノルズ数} = \rho \cdot D \cdot v / \mu$$

で与えられる。ただし, ρ は流体の密度, D は円管を流れる流体では管の直径, v は流体の速度, μ は粘性率である。この式は

$$\text{レイノルズ数} = \text{流体の慣性力} / \text{流体の粘性力}$$

を意味し, 言い換えれば,

$$\text{レイノルズ数} = \text{流体の荒々しさ} / \text{流体を押しとどめる力}$$

と表現してもよい。分母と分子の単位は $\text{Pa} \cdot \text{s}$ であり, レイノルズ数は無次元である。この式に該当する数値を代入すればよいが, 密度は 1000 kg/m^3 , D は 0.02 m , 速度は 0.5 m/s なので,

$$\text{レイノルズ数} = 1000 \times 0.02 \times 0.5 / 5 \times 10^{-3} = 2000 \text{ となる。}$$

同一の生体内ではどの血管においても血液の密度および粘性率が変わらないとして, 流速と血管系の最も大きい, 上行大動脈の血流が最も大きなレイノルズ数となる。レイノルズ数が臨界レイノルズ数 (2000 程度) を超えると流れは層流から乱流へと変化する。生体内の血流はほとんど層流で流れると考えて良いが, 大動脈の起始部 (上行大動脈) の血流は乱流になる可能性がある。

【問題 31】 次に示すバイオセラミックスのうち、生体不活性(バイオイナート)のものはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. アルミナ
- b. バイオガラス
- c. ハイドロキシアパタイト
- d. カーボン
- e. リン酸三カルシウム

- 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】 20 = 3)

【解説】 医用材料のうちのバイオセラミックスに関する問題である。バイオセラミックスには、生体不活性(バイオイナート)のものと、生体活性(バイオアクティブ)のものがあり、その代表的な材料としては、それぞれ次のようなものがある。

○生体不活性のもの：アルミナ、ジルコニア、カーボン

○生体活性のもの：バイオガラス、ハイドロキシアパタイト、リン酸三カルシウム

したがって、正解は次のようになる。

- a. 生体不活性
- × b. 生体活性
- × c. 生体活性
- d. 生体不活性
- × e. 生体不活性

【問題 32】 表面接触型の医療用具において生物試験として求められているものはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 細胞毒性
- b. 急性全身毒性
- c. 発熱性
- d. 感作性
- e. 発癌性

- 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 = 3)

【解説】 医療材料の安全性試験として、第一次評価のためのガイドラインには用具の形態によって評価試験項目が定められている。

表面接触型の医療用具では、a. 細胞毒性と d. 感作性の評価試験結果が求められている。細胞毒性評価試験はすべての医療用具に関して義務づけられており、動物系レベルでの毒性試験を一般的に行うことができる細胞レベルで代用するものである。感作性評価試験は材料から遊離する化学物質によってアレルギー反応などが起きないかどうかを予測するものである。

急性全身毒性、発熱性評価試験は、体内と体外を連結する用具や体内埋め込み用具について求められている。

発癌性は補足的な評価ガイドラインとして体内と体外を連結する用具や体内埋め込み用具について求められているが、評価方法は定まっていない。

参考文献

小野哲章, 峰島三千男, 堀川宗之, 渡辺敏 編集: 臨床工学技士標準テキスト
第1編 専門基礎科目 XIII 生体材料工学 p 267-273 金原出版

【問題 33】 合成高分子材料と使用目的との組み合わせで、誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. ポリ塩化ビニル—————輸液チューブ
- b. ポリプロピレン—————人工股関節
- c. 延伸ポリテトラフルオロエチレン—————人工血管
- d. ポリエチレンテレフタレート(ポリエステル)——人工腎臓
- e. ポリメタクリル酸メチル(アクリル樹脂)—————眼内レンズ

- 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] ㉓=6)

[解説] 合成高分子材料の用途に関する問題である。誤っているのはb, dである。

- a. 軟質性のポリ塩化ビニルは輸液チューブや血液回路などに利用されている。
- × b. ポリプロピレンは人工肺の膜素材のほか、硬質材料としてディスプレイシリンジなどに広く利用されているが、人工股関節では超高分子量ポリエチレンの方が利用されている。
- c. ポリテトラフルオロエチレン(PTFE)はテフロンと呼ばれ、耐熱性、化学的安定性に優れタンパク質が付着しにくい性質を持つ。PTFEを延伸加工して微細孔をもたせた延伸PTFEは人工血管として広く使用されている。
- × d. ポリエチレンテレフタレート(PET)は、抗血栓性はないが生体反応が少ないため大口径人工血管として利用されている。ダクロンはその代表例である。
- e. 透明なプラスチックであるポリメタクリル酸メチルは加工性に優れ、十分な強度を持つため、コンタクトレンズや眼内レンズなどの眼科用材料として広く利用されている。

【問題1】 病院管理に関する文章のうち、正しいのはどれか。番号を解答欄

① にマークせよ。[6]

- a. 看護師は医療機器の安全管理に関する業務を行うことができない。
- b. 病院管理学の研修を行っていない者でも、有資格者であれば病院長に就任できる。
- c. 病院管理の対象としてアウトソーシングサービスも含まれる。
- d. 医療機器に関する管理の目的として資産管理は含まれない。
- e. 有資格者でなくても、放射線関連機器・設備の管理責任者になることができる。

- 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】 ① = 5)

【解説】 医療機器管理と病院管理に関する問題である。それぞれの選択肢について正誤を調べてみる。

- × a. 医療機器の安全管理については臨床工学技士が行うことが推奨されるが、業務独占ではなく名称独占であるため、誰が実施してもよく、従って、看護師も行うことができる。
- b. わが国の医療法では、病院長になれる資格のあるのは医師（歯科医業が主である病院では歯科医師）であるが、欧米などとは異なり、病院管理学に関する知識・経験はなくともよい。
- c. 最近、病院業務の幾つかを外部の業者に任せるいわゆるアウトソーシングを採用する病院も増えつつあるが、その場合でも任せ切りではなく、病院管理の立場から業者による業務の実施内容を絶えずモニタしなければならない。
- × d. 医療機器を管理する目的としては、機器の安全使用管理、所在管理などがあるが、病院経営的な立場から、耐用年数を考慮した上での機器の購入や廃棄、あるいは適正数の購入といったような資産管理も重要である。
- × e. 放射性同位元素や放射線発生装置などを扱う事業所などにおいて、放射線障害防止法に基づき放射線障害防止の管理・監督を行う者として、放射線取扱主任者という国家資格がある。

【問題2】 次の作業のうち、修理業者に薬事法で許されていないものはどれか。
番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 故障点検・診断
- 2) オーバーホール
- 3) 性能・仕様の改良
- 4) 劣化部品の交換
- 5) 消耗部品の交換

【正解】 ② = 3)

【解説】 薬事法では、修理について「医療機器の修理とは、故障、破損、劣化等の箇所を本来の状態・機能に復帰させることをいうものであり、故障等の有無にかかわらず、解体の上点検し、必要に応じて劣化部品の交換等を行うオーバーホールを含むものである。ただし医療機器の仕様の変更のような改造は修理の範囲を超えるものであり、別途、医療機器製造業の許可の取得が必要である。」と定義づけしている。

したがって、3) は間違いである。

【問題3】 JIS T 0601-1において、保護接地端子と保護接地された接触可能金属部間のインピーダンス測定は、50または60 Hz 25 Aまたは定格電流の1.5倍の電流のうち、どちらか大きい電流値を少なくとも5~10 s間流して行うことになっている。なぜこのような大電流を流して測定する必要があるのか、その理由を解答欄〔㉗〕に100字以内で記述せよ。〔6〕

【正解】 ㉗=回答例を下記に3例示す。

- ①基礎絶縁の不良で保護接地線に過大電流が流れた場合、保護接地線が焼損せずに電源ヒューズが切れることを確認するため
- ②基礎絶縁の不良に起因する事故時の電流を保護接地線に流すことができることを確認するため
- ③保護接地回路中に存在する、細くなった接地線や接触不良の接続部分に発生する過熱の危険性を見つけるため

【解説】 本規格の規格値とその試験方法については、その根拠や理由等について十分に理解し、医療現場での確な対応ができるようにしておくことが大切である。

本規格の付属書 A 概説及び解説では、この試験方法の理由として「……その接続が基礎絶縁の不良に起因する事故時の電流を流すことができる場合に限って、保護機能を果たすことができるからである。このような電流は、電気設備中の保護装置（ヒューズなど）を、適切に短時間で作動させるに十分な大きさをもつと考えられる。試験電流について要求される最小時間は、細い配線や接触不良による接続部分の過熱の発見を意図している。この“弱い箇所”は、抵抗の測定だけでは発見できないかもしれない。……」と説明している。

とくに設問のような測定には特別な試験装置を必要とするため、医療現場での測定では簡易な代替手段としてテスターを用いることもあるが、この方法ではフレキシブルな電源コード内部に発生する接地線の半断線などは発見できないということに注意しなければならない。

【問題4】 医用電気機器の警報について、JIS や厚生労働省基準に照らして、正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 生命の危険性のある異常状態の警報音は連続音とする。
- b. 厚生労働省基準で「音声による警報」とは、合成音声による警報のことである。
- c. 警報音は、一時的に停止または減衰できる手段を備えていることが望ましい。
- d. 心電図モニターで、心室性頻拍の警報が出た後、正常リズムに復帰した場合、警報は自動停止する。
- e. 人工呼吸器の呼吸回路が外れた場合の警報は、警報を止めても2分以内に自動的に警報を発する。

- 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】 ③=9)

【解説】 医用電気機器の警報についての JIS とは JIS T 1031「医用電気機器の警報通則」であり、厚生労働省基準とは、平成13年7月30日に出された厚生労働省告示第264号の「人工呼吸器警報基準」のことである。

「人工呼吸器警報基準」の主要内容は次のとおりである。

「人工呼吸器は、次に掲げる基準に適合するものでなければならないこと。

- (1)呼吸回路が外れた場合には、音声による警報を発すること。
- (2)呼吸回路が外れた場合に発せられる音声による警報を一時的に消音し、かつ、当該警報の消音時から2分以内に自動的に当該警報を発する機能を有すること。
- (3)呼吸回路が外れた場合に発せられる音声による警報は、一時的に消音する場合を除き、消音することができないこと。
- (4)給電が停止した場合には、音声による警報を発すること。

(5)本体を駆動させるスイッチは、接触等により容易に切断されない構造又は機能を有すること。

ただし、以下の左表に掲げる人工呼吸器については、上記の(1)～(5)のうち中欄に掲げる項目を適用しないこと。(表は省略するが、適用除外人工呼吸器は、手動式人工呼吸器、CPAP(持続気道陽圧)専用装置、蘇生器(ガス圧式)、体外式人工呼吸器、麻酔専用人工呼吸器、ガス圧式人工呼吸器、蘇生器(電気駆動式)である)」

× a. JIS では「緊急警報」は「周期 0.5 s で、0.25 s オン、0.25 s オフの様式の 1000～2000 Hz の音」と規定されており、連続音ではない。

× b. 厚生労働省基準でいう「音声」とは「音または声」という意味で、合成音声のことではない。

○ c. JIS にそのように規定されている。

× d. 「心室性頻拍の警報」は緊急警報であるが、JIS では「緊急警報は、自動解除できないこと」となっている。なお「自動解除」とは「警報を発生した後に、警報の対象となる事象が消滅するか、又は一定時間経過したときに、機器が自動的に警報を止めること」である。

○ e. JIS では「警報音の一時停止」に関して、「(1) 一時停止させた警報音は、定められた停止時間が経過した後に自動復帰すること。(2) 停止時間は 10 分間を超えてはならない。」と規定しているが、「人工呼吸器警報基準」では、「(2)呼吸回路が外れた場合に発せられる音声による警報を一時的に消音し、かつ、当該警報の消音時から 2 分以内に自動的に当該警報を発する機能を有すること。」と規定されていて、より厳しい内容になっている。

なお、JIS T 1031「医用電気機器の警報通則」は 2006 年 11 月に廃止になった。今後は、IEC 規格の「IEC 60601-1-8 MEDICAL ELECTRICAL EQUIPMENT-Part 1-8: General requirements for safety - Collateral Standard: Alarm systems - requirements, tests and guidelines - General requirements and guidelines for alarm systems in medical electrical equipment and in medical electrical systems」の日本語訳が JIS になるはずである。

【問題5】 JIS T 0601-1 で決められた単一故障状態ではないのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 機器の電源導線が一本断線した状態
- b. 永久設置形のクラス I 機器の永久設置された保護接地線が断線した状態
- c. クラス I 機器の外装漏れ電流で保護接地線が断線した状態
- d. B形装着部を持つ機器の信号入力部に電源電圧が乗った状態
- e. クラス II 機器の強化絶縁が短絡した状態

- 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】 JIS T 0601-1 では、単一故障状態は次のように定義されている。

「2.10.11 単一故障状態 (SINGLE FAULT CONDITION) 機器に備えた危害に対する保護手段の一つが故障するか、又は外部に一つの異常状態が存在する状態 (3.6 参照)。」

また 3.6 節には次のような単一故障状態が列挙されている。

「3.6 この規格では、次の単一故障状態を規定の要求事項及び試験の対象とする。

- a) 保護接地線の断線 (第 3 章参照)
- b) 一つの電源導線の断線 (第 3 章参照)
- * c) F 形装着部に外部の電圧が現れる (第 3 章参照)
- d) 信号入力部又は信号出力部に外部の電圧が現れる (第 3 章参照)
- e) 酸素又は亜酸化窒素・可燃性麻醉ガスの外装からの漏れ (第 6 章参照)
- f) 液体の漏れ (44.4 参照)
- g) 危害の原因になるおそれのある電気部品の事故 (第 9 章参照)
- b) 危害の原因になるおそれのある機械部品の事故 (第 4 章参照)
- j) 温度制限器の事故 (第 7 章参照)

ある単一故障状態がもう一つの単一故障状態を必然的に誘発する場合には、そ

の二つの事故を一つの単一故障状態とみなす。」

また、除外規定として次のように規定されている。

「3.7 この規格においては、次の現象は発生するおそれがないと考える。

- a) 二重絶縁の両方の電氣的破壊
- b) 強化絶縁の電氣的破壊
- c) 固定して永久的に設置した保護接地線の断線」

以上をもとに、問題を検討する。

- a. 特に、接地漏れ電流では単一故障状態は「電源導線が一本断線」だけである。
- × b. 上記3.7のc)に該当するので、除外される。
- c. クラス I 機器の保護接地線の断線は「患者漏れ電流」「患者測定電流」「外装漏れ電流」の単一故障状態である。
- d. 上記「c) F 形装着部に外部の電圧が現れる」状態である。
- × e. クラス II 機器の強化絶縁とは「二重絶縁に匹敵する一重の絶縁」であるので、3.7のa)に該当し除外される。

【問題6】 医療機器でPL法が適用されるのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 偶発故障期間における医療機器に不具合が起こり、医療従事者が負傷した場合
- b. 耐用期間を過ぎて、摩耗故障期間に入った医療機器に不具合が生じ、患者が負傷した場合
- c. 初期故障期間における医療機器に不具合が生じ、患者が負傷した場合
- d. 偶発故障期間における医療機器の保守・点検が不十分なため、患者が負傷した場合
- e. 医療従事者が自分で修理した医療機器の不具合のため、その従事者が負傷した場合

- 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] ⑤=2)

[解説] 医療機器とPL法に関する問題である。それぞれの選択肢について正誤を調べてみる。

- a. 偶発故障期間において、操作ミスなど医療従事者の技量不足などもないのに、医療機器の不具合が生じ、患者や医療従事者の身体や財産に被害を及ぼした場合、PL法適用の対象となる。
- × b. 医療機器が耐用期間を過ぎて摩耗故障期間に入った場合、消費者が合理的に認識することのできる耐用年数の経過後と解釈されるため、機器の不具合は欠陥にはあたらないとされ、患者や医療従事者が負傷した場合でも、PL法の対象にはならない。
- c. 初期故障期間に医療機器の不具合が生じ、患者や医療従事者が負傷した場合、a.と同様、医療従事者の責任によるものではない場合、PL法が適用される。
- × d. 使用者側の保守・点検が不十分なため、医療機器の不具合により患者や医療従事者が負傷した場合、偶発故障期間であってもPL法の対象とはならず、従来通り、民法第709条（不法行為責任）が適用される。
- × e. 医療従事者が修理した医療機器が不具合を生じ、患者や医療従事者が負傷した場合、PL法の対象にはならず、d.と同じく民法が適用されると考えられる。

【問題7】 医用差込接続器(コンセント, プラグ)が一般用よりも安全上優れている点を2点挙げ, 解答欄 に記述せよ。[6]

【正解】 接地形2極(3P)である, コンセントの保持力に規定がある, 病院使用であるHマークや緑色の●印が付いている, コンセントの接地端子はリード線つきであるなど。

【解説】 病院用の「医用差込接続器」はJIS-T-1021でその形状・構造や安全性を規定している。JIS-C-8303で規定した一般の「配線用差込接続器」と比べ強度や性能を強化し区別している。

「医用差込接続器」には次のような事項が求められている。

- ①医用コンセントは接地形2極(3P)でなければならない
- ②コンセントの保持力(抜け難さ)の範囲が15A用では15~60N(ニュートン), 20A用では20~100N(ニュートン)と規定されている。
- ③コンセントの接地端子(接地ピンの刃受)はリード線つきである。
- ④病院仕様であることを示すHマーク, または緑色の●印をつけること。

【問題 8】 12 V 60 Ah のバッテリー 16 個で構成される瞬時特別非常電源が定格時間運転できる最大電力は約 kW である。バッテリーの定格は理想的とし、直流交流変換の効率は 100% とする。解答欄 に適切な数値を記入せよ。
[6]

[正解] = 69

【解説】 バッテリーの容量は JIS-D-5301 で電解液温度 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ の条件下での 5 時間率容量 (Ah) と規定されている。

5 時間率容量 (Ah) は完全に充電したバッテリーを電解液温度 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ に保持し、5 時間率容量の 1/5 の一定電流 (5 時間率電流) で電圧が 10.5 V に降下するまで放電したときの容量である。

$$\text{容量 (Ah)} = 5 \text{ 時間率電流 (A)} \times \text{放電終止電圧 } 10.5 \text{ V までの持続時間 (h)}$$

バッテリーの電圧は放電に伴って徐々に低下するが理想的なバッテリーとすれば放電電流と時間の積が容量 (Ah) なので 16 個のバッテリーでは $60 \text{ (Ah)} \times 16 = 960 \text{ (Ah)}$ の容量になる。

電力量に換算すると $12 \times 960 = 11520 \text{ (Wh)}$

一方瞬時特別非常電源の連続運転時間が 10 分以上であることから 11520 Wh の電力量を 10 分間で消費するには最大 $11520 \times (60 \div 10) = 69120 \text{ (w)} \doteq 69 \text{ (kw)}$ の電力まで消費できる。

【問題 9】 鉄筋鉄骨コンクリート造の病院建築の場合、建物の地下部分を接地極として使うことを JIS T 1022 は推奨している。その接地抵抗 R は次式によって算出することになっている。これに関して以下の問に答えよ。

$$R = 3 \times \frac{0.4 \rho}{\sqrt{A}} [\Omega]$$

9-1 式中の ρ は何か。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) コンクリートの抵抗率
- 2) コンクリートの導電率
- 3) 土壌の抵抗率
- 4) 土壌の導電率
- 5) 地下部分の鉄骨の接地抵抗

9-2 式中の A は何か。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 地下部分の総重量(kg)
- 2) 建物全体の総重量(kg)
- 3) 建物周囲 10 m 以内の土壌の総重量(kg)
- 4) 地下部分の総表面積(m²)
- 5) 建物を球体と見なした場合の総表面積(m²)

9-3 式中の係数 0.4 は何か。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 周囲の土壌の導電性を有効度 40%に見積もるための係数
- 2) 前の係数 3 とあいまって接地抵抗を 20%多く見積もるための係数
- 3) 地下部分を半球体と見なすための形状係数
- 4) $e^{-0.9}$ の概数(e は自然対数の底)
- 5) $1/\sqrt{(2\pi)}$ の概数(π は円周率)

[正解] ⑥ = 3) ⑦ = 4) ⑧ = 5)

[解説]

9-1 式中の ρ は「土壌の抵抗率」で次のような方法で測定することになっている。

1) 大地抵抗率の測定 大地抵抗率は、掘削前又は掘削後の地表面で建築面積 $50 \times 50 (\text{m}^2)$ につき 1 点を次のいずれかによって求め、その相加平均とする(以下、図は省略する)。

a) 大地抵抗率測定器(Wenner の四電極法によるもの)を用い、附属書図 1 のように電極を配し、測定する。

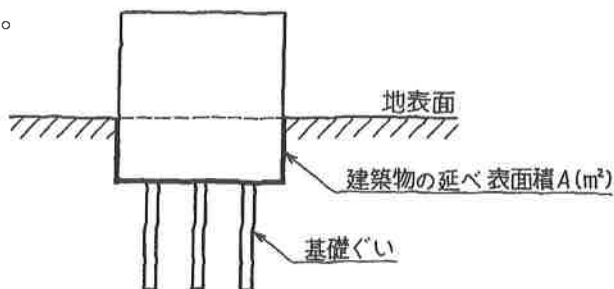
b) 長さ 1.5 m、直径 14 mm の接地棒を打ち込み、補助電極を附属書図 2 のように配し、JIS C 1304 に規定する接地抵抗計を用いて接地抵抗を測定し、附属書付図 1 から ρ を読み取る。

c) 直径 $d(\text{m})$ の接地棒を深さ 1 (m) まで打ち込んで、附属書図 2 のように接地抵抗を測定する。その接地抵抗を $R(\Omega)$ とすれば、大地抵抗率 ρ (Ωm) は、次の式によって算出する。

$$\rho = \frac{2 \pi l R}{\log_e \frac{4 l}{d}}$$

9-2 式中の A は地下部分の総表面積 (m^2) であるが、次のように規定されており、打ち込まれた基礎ぐいの部分の表面積は除くことになっている。

1) 建築物地下部分の延べ表面積の算定 建築物が大地と接触している部分の全表面積を算定する。ただし、基礎ぐい(附属書図 3 参照)などの表面積は除く。



附属書図 3

9-3 規格の式は、建物の地下部分を半球と仮定して、計算で求めた接地抵抗に安全係数 3 を掛けたものである。

抵抗率 ρ の無限媒質中での半径 a の半球電極の「接地抵抗（広がり抵抗）」は次式で与えられる。

$$R = \rho / (2 \pi a)$$

この半球の表面積は

$$A = 2 \pi a^2$$

と表せるが、これより、半径 a を表面積 A で表すと

$$a = \sqrt{A / 2 \pi}$$

と表せる。よって、半球電極の接地抵抗 R は

$$R = \rho / \sqrt{2 \pi A}$$

と表せることになる。ここで、数値部分の $1 / \sqrt{2 \pi} = 0.399 = 0.4$ ということから、この部分を 0.4 とおくと

$$R = 0.4 \cdot \rho / \sqrt{A}$$

となる。この式が、規格の式の 3 以降の部分である。3 は、仮定に基づく計算によって算出された値の危険率のようなもので、その計算値の 3 倍が規定値を超えていなければ良しとする「安全係数」である。

よって、式中の係数 0.4 は「 $1 / \sqrt{2 \pi}$ の概数」なのである。

【問題 10】 一般高圧ガス保安規則で、医療ガスボンベを貯蔵する場所の温度はいくらになっているか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 20°C以下
- 2) 25°C以下
- 3) 30°C以下
- 4) 35°C以下
- 5) 40°C以下

[正解] ⑨= 5)

[解説] 高圧ガス容器（ガスボンベ）を貯蔵する際の環境の温度については、一般高圧ガス保安規則の第6条2項の「八 容器置場及び充てん容器等は、次に掲げる基準に適合すること。」に「充てん容器等は、常に温度四十度以下に保つこと。」と規定されているため、正解は5)である。なお、参考のため、一般高圧ガス保安規則の第6条2項の「八 容器置場及び充てん容器等には、次に掲げる基準に適合すること。」の全文を下記に示す。

一般高圧ガス保安規則の第6条2項

八 容器置場及び充てん容器等には、次に掲げる基準に適合すること。

- イ 充てん容器等は、充てん容器及び残ガス容器にそれぞれ区分して容器置場に置くこと。
- ロ 可燃性ガス、毒性ガス及び酸素の充てん容器等は、それぞれ区分して容器置場に置くこと。
- ハ 容器置場には、計量器等作業に必要な物以外の物を置かないこと。
- ニ 容器置場（不活性ガス及び空気のものを除く。）の周囲二メートル以内においては、火気の使用を禁じ、かつ、引火性又は発火性の物を置かないこと。
- ホ 充てん容器等は、常に温度四十度以下に保つこと。
- ヘ 充てん容器等（内容積が五リットル以下のものを除く。）には、転落、転倒等による衝撃及びバルブの損傷を防止する措置を講じ、かつ、粗暴な取扱いをしないこと。
- ト 可燃性ガスの容器置場には、携帯電燈以外の燈火を携えて立ち入らないこと。

【問題 11】 医療ガスのボンベにある刻印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. V ————— 容器の内容積
- b. W ————— 充てんガスの質量
- c. TP ————— 容器の耐圧試験圧力
- d. FP ————— 最高充てん圧力
- e. HT ————— 貯蔵許容温度

- 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】 = 7)

【解説】 高圧ガス容器（ガスボンベ）の表面にある刻印については、容器保安規則第三章「容器検査等」の第二章「容器の刻印等」の（刻印等の方式）第八条一項に規定されている。

- a. 「V」は「第八条一項六」に「内容積（記号 V，単位 リットル）」と規定されているため，この選択肢は正しい。
- × b. 「W」は「第八条一項七」に「附属品を含まない容器の質量（記号 W，単位 キログラム）」と規定されているため，この選択肢は正しくない。
- c. 「TP」は「第八条一項十一」に「耐圧試験における圧力（記号 TP，単位 メガパスカル）及び M」と規定されているため，この選択肢は正しい。
- d. 「FP」は「第八条一項十二」に「圧縮ガスを充てんする容器にあつては，最高充てん圧力（記号 FP，単位 メガパスカル）及び M」と規定されているため，この選択肢は正しい。
- × e. 「HT」は「第八条一項十三イ」に「十三 高強度鋼又はアルミニウム合金で製造された容器にあつては，次に掲げる材料の区分 イ 高強度鋼（記号 HT）」と規定されているため，この選択肢は正しくない。

【問題 12】 医療ガス配管設備について誤っているのはどれか。番号を解答欄

⑪にマークせよ。[6]

- a. マニフォールドとは複数の高圧ガス容器の集合体である。
- b. 吸引ポンプの設置は1基でも良い。
- c. シャットオフバルブは常時閉じた状態にある。
- d. 酸素の配管端末器での標準圧力は約0.4 MPaである。
- e. 圧縮空気の配管端末器最大流量は60ℓ/分(標準状態)以上である。

- 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】 ⑪= 5)

【解説】 医療ガス配管設備については JIS T 7101-1997 で規定されている。これは供給される各種の医療ガスを使用者が常に安定した状態で使用できるように、高度の安全基準を確保し、供給失調、途絶の危険を適切に知らせる警報装置の完備、および万一の事態に備えて予備供給装置の保有などについて規定している。

○ a. マニフォールドは複数の高圧ガス容器（ボンベ）を集めて一本にまとめて、医療ガス配管を介して院内各部署に供給する装置を言う。複数の高圧ガス容器は第一供給と第二供給の二つに分けられている（それぞれをバンクという）。両バンクの間には自動切換装置が設けられ、片側のバンクが空になると自動的にもう一方のバンクに切り換わりガス供給が行われる仕組みになっている。

× b. 吸引は陰圧のガスと定義され、気道内や術野からの吸引に欠かせないものである。そのため1基の吸引ポンプが停止している時にも吸引圧を低下させないように、吸引ポンプは2基以上の設置が義務付けられている。なお、1基が停止した時にも標準最大流量（ $\geq 40 \text{ N}\ell/\text{分}$ ）の容量がなければならない。

- × c. シャットオフバルブは手動または自動で開閉し、閉まっているときはどの方向へもガスを流さないバルブである。このバルブには送気操作用遮断弁と区域別遮断弁があり、前者は送気配管設備の保守点検や送気制御時に使用され、後者は配管端末器の管理を区域化することによって保守点検または非常時の管理をおこなうために使用される。そのため通常時は常に「開」の状態である。
- d. 配管端末器から供給される標準圧力は、酸素、亜酸化窒素（笑気ガス）、治療用空気は約 0.4 MPa (392 ± 49 kPa) であるが、静止状態において酸素は亜酸化窒素、治療用空気よりも 29.4 kPa 高くなっていないなければならない。これは配管端末器に接続した機器（酸素ブレンダなど）のガス経路に異常があった場合、それを介して酸素配管に他のガスが逆流または混入することを防止している。
- e. 圧縮空気（治療用空気）の配管端末器最大流量は 60 Nℓ/分もしくはそれ以上である。酸素も同様である。亜酸化窒素は 40 Nℓ/分もしくはそれ以上と規定されている。
- Nℓ/分とは標準状態（温度 0°C，相対湿度 0%，大気圧という条件）下で測定した時の流量の単位である。N は「ノーマル」と読む。

【問題13】 パルスオキシメータの表示値が不安定であると報告を受けたので、次のような指示をした。不適切なのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 色素が投与されていないことの確認
- b. プローブを測定部に強く巻きつけること
- c. 外光の影響を考えプローブの遮光
- d. 末梢循環不全の有無の確認
- e. 電源コードの交換

- 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] ⑫ = 7)

[解説]

- a. 色素の吸光波長が 660 nm または 910 nm 近傍にあると影響をうける。(パテントブルーは 660 nm 付近の多くの光を吸収するので影響を受ける。)
- × b. プローブ装着部位の血液の吸光度よび容積変化を測定するので、プローブを強く巻きつけると容積変化が検出できないばかりか循環障害を発生させる。
- c. プローブを装着している測定部位に无影灯や外光などの強い光が当たるとこれらがフォトダオードに混入して容積脈波が計測できなくなる。
- d. 末梢循環が悪く、測定部位での容積変化が小な状態などでは、S/N が悪くなり測定値に影響を及ぼす。
- × e. 電源コードを交換して、測定には全く影響を及ぼすことはない。

【問題 14】 人工呼吸器使用中に起こりうる異常に対する対策として人工呼吸器に装備すべきものはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 給電の停止————警報装置
- b. マニフォールドの故障————バッテリー
- c. 呼吸回路のリーク————気道内圧警報装置
- d. 加湿器内サーモスタットの故障——回路内酸素濃度計
- e. 送気装置の故障————回路内温度計

- 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】 ⑬ = 2)

【解説】 人工呼吸器管理中の事故は起こってはならないが、ひとたび事故が起ると患者さんの命に直結する大事となる。そこで、人工呼吸管理中は、必ずトラブルが発生するという前提に立って、患者管理がなされるべきである。

本出題は、人工呼吸使用中に起きるトラブルを、人工呼吸器側（機械側）からみた場合に、そのトラブルに対処するためにどのような対策がなされているかについて、人工呼吸管理を行う者として知っておかなければならない内容である。

- a. 人工呼吸器は、電源供給がない状態（電源遮断や供給電圧低下など）で電源スイッチを入れると、供給電源の警報が鳴る仕組みとなっている。
- × b. マニフォールド方式（連続的な医療ガス供給システム）と内蔵バッテリーとは無関係である。
- c. 気道内圧の警報は、各換気モードで設定した条件に基づき、上限、及び下限警報が設定されている。よって、リークなどによって回路内圧が設定値の下限を下回った場合は警報が鳴る仕組みとなっている。
- × d. 加湿器内のサーモスタットと回路内の酸素濃度計は無関係である。
- × e. 送気装置と回路内の温度計は無関係である。

【問題 15】 人工呼吸器の使用 midpoint 検において、医師の許可を得て行わなければならない項目はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 呼吸回路のチューブやコネクタ類の接続の確認。
- b. 呼吸回路に圧力計を挿入しての最大吸気圧の測定。
- c. 加温加湿器の動作確認後における加湿チャンバ内の水位チェック。
- d. 呼吸回路内ウォータートラップの水の排出。
- e. 呼吸回路に酸素濃度計を挿入しての供給酸素濃度の測定。

- 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 = 7)

【解説】 人工呼吸治療中の業務に関しては、「臨床工学技士業務指針」に沿って行われなければならない。(臨床工学技士業務指針 III-1 呼吸治療業務)

この問題は、「医師の許可」=「医師の指示」を受けべき業務について問うている。つまり、医師の決めた、各生命維持管理装置の操作条件及び薬剤の投与量に従い、臨床工学技士はこれらの条件等の設定及び変更を行うこととなっている。また医師の指示については、操作前にうける指示の他、操作中の指示についても、できる限り具体的に受けなければならないとしている。

× a. 臨床工学技士業務指針に準じている。

○ b. 回路を一度外しての測定に関しては、上記業務指針 III-1 E-6 に掲げられている用に、「～改めて医師の最終確認を受けなければならない」という操作・行為に該当する。

× c. 臨床工学技士業務指針に準じている。加温加湿器は、呼吸治療業務の対象機器となっている。

× d. 臨床工学技士業務指針に準じている。

○ e. 上記 b. と同様の操作・行為に該当する。

【問題16】 ガルバニックセル方式の酸素濃度計に使用されるセルの寿命は [%時間] (その時の酸素濃度 [%] × 測定時間) で表される。寿命 10 万 % 時間のセルで合成空気の酸素濃度を計測する場合、おおよそどのくらいでセルの交換が必要となるか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 1ヶ月
- 2) 3ヶ月
- 3) 6ヶ月
- 4) 1年
- 5) 2年

[正解] ⑬ = 3)

[解説] 酸素透過性の優れたテフロンなどの隔膜を通して酸素が電解液中に拡散吸収されると、その電解液に浸されたガルバニ電池（セル）は電解液中の酸素濃度に比例した還元電流を発生する（図）。出力電流は隔膜を透過した酸素量、つまり隔膜を介して接しているガスの酸素分圧に比例するので、これを酸素濃度として読取るようにしたものが、ガルバニック方式の酸素濃度計である。ガルバニックセル方式は、磁気風方式やジルコニア方式の計測法に比べると小型軽量で簡便に使用できるが、使用時に校正が必要でありセルの寿命が短いという特徴もある。医療用以外にも工業計測での簡易計測に使用されている。

セルの寿命は問題文のように計算できるのでセルを交換するまでの時間は
交換時間（測定時間）＝セルの寿命÷酸素濃度

として求められる。また合成空気の酸素分圧は約 22%であるから

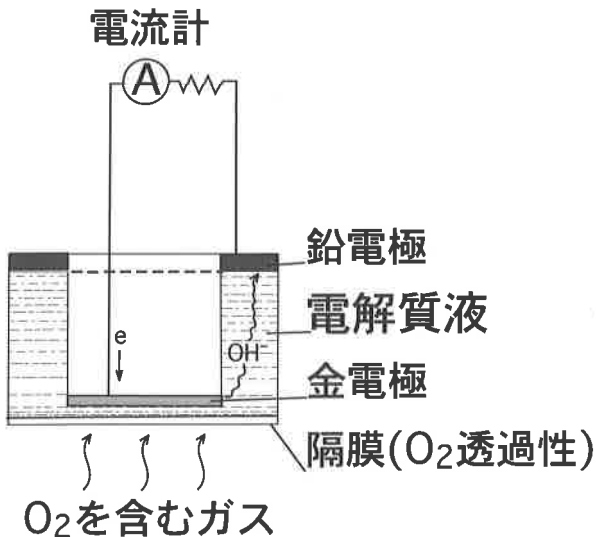
$$100,000[\%時間] \div 22[\%] \doteq 4,545.5[時間]$$

$$4,545.5[時間] \div 24[時間] \doteq 189.4[日]$$

$$189.4[日] \div 30[日] \doteq 6.3[月]$$

となる。したがって計算上ではおおよそ 6 ヶ月でセルの交換が必要となる。

図 ガルバニ電池の原理図



【問題 17】 DDDR 型ペースメーカーについて誤っているのはどれか。番号を解答欄 ⑩ にマークせよ。[5]

- a. 電極リードは 2 本である。
- b. 自発の P 波が確実に出る場合に使用される。
- c. レートレスポンス(心拍応答)機能をオン・オフできる。
- d. VVI モードには設定できない。
- e. 自発心拍が多いと電池寿命が延びる。

- 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】 ⑩ = 6)

【解説】 DDD 型ペースメーカーは、心房で P 波を感知した場合は刺激を抑制し、感知しない場合は心房を刺激する。同様に、心室で R 波を感知した場合は刺激を抑制し、感知しない場合は心室を刺激する。

- a. 電極リードは心房の感知・刺激用と心室の感知・刺激用に 2 本必要である。
- × b. 自発の P 波が確実に出る場合には、心房刺激が必要ないので、VDD 型が使用される。この場合、電極リードが 1 本でリード途中(心房位置)に P 波感知電極を有した電極が使われることが多い。
- c. 4 文字目の “R” はレートレスポンス(心拍応答)機能を有していることを示し、また、その機能をオン・オフできる。
- × d. DDD 型ペースメーカーは、プログラム設定により、DDD 以外の様々なモードに設定できる。VVI モードにも設定できる。
- e. 自発の心拍が多いと感知機能により刺激は抑制され、刺激パルス発生のためのエネルギーがセーブされる。したがって電池寿命は延びる。

【問題 18】 観血式血圧測定において、血圧波形の最高値が低く表示される要因にはどのようなものがあるか。具体的な要因を3つ挙げ解答欄⑤に記述せよ。〔6〕

【正解】 ⑤={解答例：1. 血圧モニタリングライン途中からの水漏れがある。2. 血圧モニタリングラインに気泡が混入している。3. ディスポーザブルドームのトランスデューサへの装着が不十分である。4. トランスデューサの位置が右房より高い。5. 大気開放にしないでゼロ調整を行った。これらのうち、3つが挙げられていれば正解である}

【解説】 観血式血圧測定において、血圧波形の最高値が低く表示される要因としては以下のようなものが挙げられる。

1. 血圧モニタリングライン途中からの水漏れがあると、圧力が抜けていくので低くなる。
2. 血圧モニタリングラインに気泡が混入していると、この気泡によるコンプライアンスによりダンピングされる。
3. ディスポーザブルドームのトランスデューサへの装着時、その装着面間に空気が入ると、これがコンプライアンスとなりダンピングされる。
4. トランスデューサの位置が右房より高いと、血圧値がその高さの差分の水柱圧だけ低く測定される。
5. 大気開放にしないでゼロ調整を行うと、圧力がかかった状態をゼロとするので、その分血圧値が低く表示される。

【問題 19】 現在使用されている AED(自動体外式除細動器)に関する記述で誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[5]

- 1) 除細動が必要か否かを音声で知らせる。
- 2) 心室細動および早い(無脈性)心室頻拍以外では作動しない。
- 3) 待機時は商用電源で充電しておく。
- 4) 8歳未満の小児には適用すべきではない。
- 5) データが保存され、後で心電図を再生できる。

[正解] ⑰ = 3)

[解説] 心室細動発生から1分ごとに救命率は7～10%低下するといわれ、心停止に対していかに速やかに対処するかが救命の重要な要素となる。そこで、現場に居合わせた一般市民が心停止患者に対しAED (Automated External Defibrillator) を用いて除細動を行うこと (Public Access Defibrillation : PAD) が2004年7月から認められ、AEDは公共の施設、学校、スポーツジム、ゴルフ場などに導入が進んでいる。日本版救急蘇生ガイドラインが2006年に変更され、AEDについては従来3回連続除細動であったものを、心肺蘇生の中断を最小限にするために、1回通電を行いその後直ちに心肺蘇生を実施する方法 (1-Shock プロトコール) に改められた。

- 1) 器械が患者の心電図を自動解析し、除細動の必要があるときは音声で知らせると同時に自動的に充電が始まり、数秒後に充電完了とともに「放電 (除細動) ボタンを押してください」の指示が音声である。
- 2) 心停止をきたす不整脈には、心室細動と無脈性の早い心室頻拍、無脈性電気活動、心静止があるが、電氣的除細動が有効なのは心室細動と無脈性心室頻拍だけである。心静止には除細動を行ってはいけない。
- ×3) 電源にはリチウムバッテリーが使用され、300回前後の除細動が可能である。待機モードでは3～5年の寿命があるが、充電は出来ない。バッテリーの残量はセルフチェックされ、異常があれば表示される機構になっている。
- 4) 旧ガイドラインでは8歳未満の小児には用いられなかったが、新ガイドラインでは、1歳以上8歳未満の小児には小児用パッドを用い、小児用パッドがない場合は成人用パッドの代用も考慮することに改定された。
- 5) AEDを使用した時の心電図波形やイベント情報、あるいはセルフチェックの履歴は保存されているので、内部データをパソコンに取り込んで事後に心電図を再生し解析・検証することができる。事後検証とデータの収集・蓄積は救命率向上のために重要である。

【問題 20】 PCPS(percutaneous cardiopulmonary support)実施中，血液ポンプは出入り口の圧力差 400 mmHg，流量 2.4ℓ/min で動作していた。このとき血液ポンプの出力(血液に対して成している仕事率)は何 W か，番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 0.016
- 2) 0.22
- 3) 2.1
- 4) 128
- 5) 960

【正解】⑩=3)

【解説】PCPS (percutaneous cardiopulmonary support) は、体外から経皮的にカニューレを挿入し、人工肺と血液ポンプを組み合わせた装置でVAバイパスを構成し、心肺補助を行う方法である。主として、緊急時に手術までの生命維持に用いる。

このとき、血液ポンプが血液に与える仕事率 W [W] (単位時間当たりの仕事量で、ポンプの出力に相当する) はポンプ出入口間の血液に与える圧力差 ΔP [Pa], 血流量 Q [m³/s] とすると

$$W = \Delta P Q$$

で与えられる。

ここで、与えられた数値の単位を SI 単位に変換する必要がある、

$$1 \text{ mmHg} \rightarrow 133 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ L/min} \rightarrow 1/60000 \text{ m}^3/\text{s}$$

であるから

$$\begin{aligned} W &= 133 \times 400 \times (1/60000) \times 2.4 \\ &= 2.13 [\text{W}] \end{aligned}$$

【備考】圧力の単位の換算について、水銀の密度 ρ は $13.59 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ であるので、水銀柱の高さ $h = 1 \times 10^{-3} \text{ [m]}$ に相当する圧力 P (Pa) は

$$P = \rho g h = 13.59 \times 10^3 \times 9.8 \times 1 \times 10^{-3} = 133 [\text{Pa}]$$

で与えられる。

【問題 21】 血液流量 $200 \text{ m}\ell/\text{min}$ で血液透析を行ったところ、尿素のクリアランスは $160 \text{ m}\ell/\text{min}$ であり、また血液中の尿素濃度が半分になるのに必要な時間は 2 時間であった。同じ血液透析器を用いて、血液流量を $140 \text{ m}\ell/\text{min}$ にして血液透析を行うと尿素のクリアランスは $120 \text{ m}\ell/\text{min}$ となった。このとき尿素濃度が半分になるのに必要な時間に最も近いのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、尿素は体内に均一に分布し、その濃度は一様である(完全混合の仮定が成り立つ)と考える。[6]

- 1) 60 分
- 2) 90 分
- 3) 120 分
- 4) 160 分
- 5) 180 分

【正解】 ⑬ = 4)

【解説】 除水がないとき、体内の濃度変化は、

$$V \frac{dC_B(t)}{dt} = -KC_B(t)$$

より表される。ここで、 V は体液量 [mℓ]、 $C_B(t)$ は時間 t [min] における血液中の溶質濃度 [mg/mℓ]、 K はクリアランス [mℓ/min] を表す。これを解くと、血液中の溶質濃度は、

$$C_B(t) = C_B(0) \exp\left(-\frac{Kt}{V}\right)$$

となる。したがって、溶質濃度が半分になる時間は、

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\frac{K}{V}t$$

より計算できる。ここで、クリアランスが変化したときに必要な時間は、体液量 V は一定なので、

$$160 \text{ mℓ/min} \times 120 \text{ min} = 120 \text{ mℓ/min} \times \boxed{\text{⑬}} \text{ min}$$

より計算できる。

したがって、クリアランス 120 mℓ/min のときに濃度が半分になるのに必要な時間は、160 min で、4) が正解となる。

【問題 22】 血液透析中の患者体内尿素的除去動態が図に示すような 1-compartment model に従うものとする。

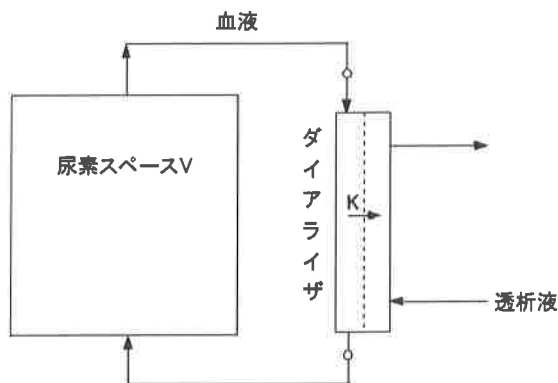


図 体内 1-compartment model

ここで、 V は患者の尿素スペース(分布容積)、 K はダイアライザの尿素クリアランスである。いま、透析中の除水は無視できるものと仮定すると、透析開始 t 時間後の体内尿素濃度 $C(t)$ は以下の式で表される。

$$C(t) = C(0) \exp(-Kt/V)$$

ここで、 $C(0)$ は $t=0$ の時の $C(t)$ である。

22-1 いま、4 時間の血液透析によって尿素濃度が 90 mg/dl から 15 mg/dl へ低下したとする。透析量を表す治療指標 Kt/V の値はおよそいくらか、番号を解答欄 にマークせよ。ただし、 $\ln(2) = 0.69$ 、 $\ln(3) = 1.10$ とする。[3]

- 1) 0.17 2) 0.83 3) 1.6 4) 1.8 5) 6.0

22-2 この患者の尿素的の半減期を求め、番号を解答欄 にマークせよ。
[3]

- 1) 2.8 分 2) 28 分 3) 92 分 4) 104 分 5) 137 分

[正解] ㉔ = 4) ㉕ = 3)

[解説]

血液透析施行中の尿素の体内除去動態に関する問題である。

22-1 問題文中の式を Kt/V で書き直すと、

$$Kt/V = \ln(C(0)/C(t))$$

となる。これに代入して、

$$Kt/V = \ln(90/15) = \ln(6) = 0.69 + 1.10 = 1.79 \approx 1.8$$

22-2 問題文中の式から半減期 $t_{1/2}$ で表すと、

$$t_{1/2} = \ln(C(0)/C(t)) / (K/V) = \ln 2 / (K/V)$$

となる。前問から $K/V = 1.8 / (4 \times 60) = 0.0075$ が得られるので、

$$t_{1/2} = 0.69 / 0.0075 = 92 \text{ min}$$

となる。

【問題 23】 透析液用希釈水作成のための水処理システムとその分離対象物質の組み合わせで誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。〔6〕

- a. マイクロフィルタ——微粒子
- b. 軟水化装置——重炭酸
- c. 活性炭吸着装置——塩素
- d. 限外濾過フィルタ——リン
- e. 逆浸透装置——アルミニウム

- 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】 ②= 6)

【解説】 透析液用希釈水作成のための水処理システムに関する問題である。誤った組み合わせは、b, d である。

- a. マイクロフィルタは細胞や微粒子、錆などを除去する。
- × b. 陽イオン交換樹脂で Ca や Mg などの硬水成分を Na と交換・除去する。
- c. 活性炭吸着装置は 塩素、クロラミンなどの塩化物を除去する。
- × d. 限外濾過フィルタは細菌やエンドトキシン除去に有効であるが、リンは除去できない。
- e. 逆浸透 (RO) 膜は理論的には水分以外のすべての物質の除去に有効である。

【問題 24】 血液流量 200 ml/min ，透析液流量 500 ml/min の条件で血液透析を実施中，透析開始から 20 分後に，限外濾過流量を 0 ml/min に設定し，動脈側，静脈側の BUN を測定したところ，それぞれ 44 mg/dl ， 11 mg/dl であった。このダイアライザの尿素クリアランスを求め，解答欄 に単位を含め記入せよ。[6]

【正解】 = 150 ml/min

【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，

$$C_L = \frac{Q_{BI} C_{BI} - Q_{BO} C_{BO}}{C_{BI}}$$

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

と定義される。

ここで， C_L は尿素クリアランスとし，限外濾過流量が 0 の場合は $Q_{BI} = Q_{BO}$ となり，溶質濃度は BUN の濃度となるので，値を上の式に代入すると

$$C_L = 200 \frac{44 - 11}{44} = 150 [\text{ml/min}]$$

【問題 25】 誘発筋電計の構成と関係ないものはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) スピーカ
- 2) 電気刺激装置
- 3) アラーム装置
- 4) アイソレータ
- 5) 加算平均装置

【正解】⑳ = 3)

【解説】誘発筋電計の用途は筋肉に針を刺して安静時、随意収縮時における筋活動電位を記録する針筋電図検査と運動神経を電気刺激することで支配筋の活動電位を記録する誘発筋電図検査がある。さらに感覚神経を電気刺激して上向性の感覚神経、脊髄、大脳感覚領のそれぞれに誘発される活動電位を検査する体性感覚誘発電位検査にも使われる。

- 1) 安静時、随意収縮時に出現する異常筋電図波形をスピーカによって耳で聞きながら検査を行う。すなわち筋電図波形の振幅は音の大小によって、波形の持続時間は音の高低によって、出現頻度は音の繰り返し周期によって共に耳で聞き分けながら検査を行う。
- 2) 末梢の運動神経や感覚神経を電気刺激するために電気刺激装置を用いる。電気刺激には出力インピーダンスを高くした電流刺激と出力インピーダンスを低くした電圧刺激とがある。最近では電流刺激装置が多用されている。
- ×3) 筋電計には患者の筋電図の異常に伴う警報や筋電計の不具合に伴う警報を発するようなアラーム装置はついていない。アラーム装置を付属する意味はあまりない。
- 4) 神経を電気刺激する上で目的の神経のみを効率的に電気刺激するためには刺激電極をアース点から浮かした（アース点と無関係な）刺激出力端子が必要であり、そのために刺激出力をアース点からアイソレートするアイソレータが必要である。またこれによって誘発筋電図記録時に混入する刺激雑音の軽減効果もある。また2次的効果としてアース点から浮いていることで電氣的安全の確保にも役立つ。
- 5) 末梢の感覚神経を電気刺激してそれより中枢の神経活動や脊髄レベルあるいは大脳感覚領に誘発される電位を検出するためには、これらの誘発電位が小さいため、刺激に同期して加算平均する加算平均装置が必要である。

【問題 26】 脳神経外科手術中の脳波に雑音が混入した。脳波計の内部雑音が疑われるのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 電気メスが作動すると雑音が混入した。
- b. 手術台をアースに接続すると雑音が消失した。
- c. 特定の電極を新しいものと交換すると雑音が消失した。
- d. 記録感度を変えても雑音振幅が一定であった。
- e. 較正波形の記録に雑音が混入した。

- 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=10)

【解説】 脳波記録に雑音が混入した場合に、その原因が脳波計の内部にある場合は脳波計が故障していることが考えられる。このため雑音の発生源が脳波計の内部にあるのか外部にあるのかを識別できなければならない。一般的に脳波計の外部の処置で消失する場合は外部に雑音源があると考えられる。とくに手術室では脳波記録を含む生体計測装置を使用する環境としては電磁障害の発生源が多く、それらとの識別が重要となる。また、脳波計の構造 (図) を理解する事により脳波計内部の故障箇所をある程度特定する事もできる。

× a. 電気メスの出力は高周波 (300 k~5 Mhz), 高出力 (切開: 200~400 W, 凝固: 100~200 W) の電磁波で強力な電磁妨害波となる。従って電気メスの作動に同期した高周波雑音は電気メスが原因と考えられる。

× b. 一般に電動式の手術台はクラス I 機器である。この保護接地線が断線している場合には、手術台の電源部からの漏れ電流が患者の体を介して脳波計に流れ込み交流雑音となる。この場合手術台をアースに接続すれば断線している保護接地線のかわりとなり漏れ電流は患者の体を流れなくなり雑音が消失する。

【選択問題 1】 人工呼吸管理でサイドストリーム方式のカプノメータを使用していたところ、表示値が次第に低下しゼロとなった。測定法上の問題がある場合の対処方法として適切なのはどれか。番号を解答欄 **選1** にマークせよ。[6]

- a. サンプリングチューブ内に水滴を認めたのでチューブを交換した。
- b. 標準ガスを使用してキャリブレーションを行った。
- c. 人工呼吸回路とサンプリングアダプタとの接続不良の有無を確認した。
- d. 亜酸化窒素の影響を考慮して補正スイッチをONにした。
- e. サンプリングアダプタを 40°C前後に加温した。

- 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** = 2)

【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 $4.3\ \mu\text{m}$ 付近での赤外線の吸収が強くおき、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。カプノメータの測定方式には、①サイドストリーム方式、②メインストリーム方式に分けられる。サイドストリーム方式は、呼吸ガスを気道からサンプルチューブを介して装置本体まで吸引し測定する。この際のサンプル量は1分間あたり、50 ml～250 mlと機種により差があり、新生児、小児に使用する場合は留意する必要がある、サンプルガスを吸引して測定する間の遅延時間がある。

メインストリーム方式は、呼吸ガスを吸引することなく測定チャンバを患者の口元に装着して、チャンバ内を通過するガス濃度の変化を測定する。したがって、応答速度が速く、ガスを吸引しないので換気条件に影響を及ぼすことがない。し

かし、湿度の影響をなくすためチャンバ部分（トランスデューサ）を 40°C 程度に加熱しておく必要がある。両方式ともに、赤外線吸収特性を利用しているため、炭酸ガスに吸収特性に近いガス（亜酸化窒素の吸収スペクトル 3.9 μm 等）が同時に測定される場合は補正をする必要がある。

- a. チューブ内が水滴で閉塞すれば呼気ガスを本体まで吸引できず測定できない。
- × b. 測定中にゼロとなったので閉塞を疑うべきである。
- c. 接続不良により外部からの空気を吸引して測定している可能性があるため、接続部の確認をする。
- × d. 亜酸化窒素の影響はうけるが、値はゼロにはならない。
- × e. サイドストリーム方式のアダプタは加熱する必要がない。

【選択問題2】 人工呼吸器の換気量センサとして用いられていないものはどれか。
番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 差圧式
- b. 熱線式
- c. 電磁式
- d. ロータメータ式
- e. 超音波式

- 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2) = 8)

【解説】 最近の人工呼吸器に搭載されている換気量や流量の測定に関するセンサには、差圧式、熱線式、超音波式がある。

- a. 差圧式気流計は気流路に抵抗体を置き、ガスを流した際に抵抗体の上流側と下流側に気流速度に比例した圧力が生じ、それぞれの圧力を差圧トランスデューサに導き電気変換するものである。
- b. 熱線式気流計は白金線でできた熱線（400°C程度）に気流が当たると、気流によって放散する熱量が流速に関係することを利用してしている。
- × c. 磁界の中で導体が動くとき起電力が発生することを利用したものが電磁血流計で、通常は外科手術時の観血的な血流測定や術後の血流良否のモニタに用いられる。
- × d. 酸素療法で使用されている一般的な酸素流量計のことで、人工呼吸器のように高流量には不向きである。ロータメータ式は入り口端から出口端へ管径が一定でひろがるようにしたガラス管（テーパ管）中に、浮き（float）を浮かせることで、その位置により管内を流れる流量を測定するものである。
- e. 超音波気流計は超音波の放射により発生する超音波伝搬時間差あるいは位相差を利用してしている。

【選択問題3】 従量式人工呼吸器で強制換気を行っている患者の呼気終末炭酸ガス分圧($P_{ET}CO_2$)が 35 mmHg から 45 mmHg に上昇した。原因として考えられないものはどれか。番号を解答欄(選3)にマークせよ。ただし患者の血行動態は変化がないものとする。[6]

- a. 呼吸回路の接続部の緩み
- b. 呼気弁の閉鎖不良
- c. 吸入気酸素濃度の低下
- d. 気管チューブのカフ圧の低下
- e. 換気回数の増加

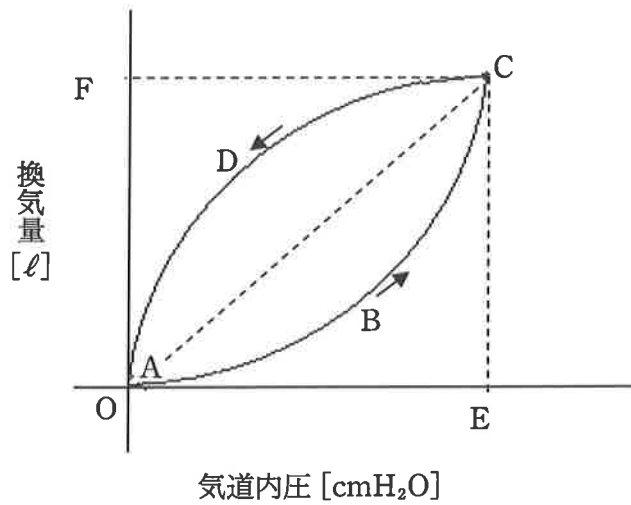
- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

[正解] (選3) = 9)

[解説] 呼気終末炭酸ガス分圧（濃度）の測定は換気および肺血流の状態を把握するためには非常に有用である。この問題では従量式人工呼吸器での管理中に呼気終末炭酸ガス分圧が上昇したことから、患者が低換気になった原因について考える問題である。

- a. 従量式のために呼吸回路の接続部の緩み部からのガスリークにより低換気になる。
- b. 呼気弁は吸気時に閉まるが、閉鎖不良の場合は吸気ガスが呼気弁を通過して大気に流れ出てしまい、患者には送られない。つまり低換気になる。
- × c. 吸入気酸素濃度の低下は低酸素状態になるため、直接呼気終末炭酸ガス分圧には影響はない。
- d. 気管チューブのカフ圧が低下した場合には、吸気時にカフ周囲からのリークが生じるために低換気になる。なお、一般にカフ圧は15～25 cmH₂Oの範囲である。
- × e. 従量式人工呼吸での換気回数増加は分時換気量の増加（過換気）状態になる。そのため呼気終末炭酸ガス分圧は低下する。低換気ではない。

【選択問題 4】 下図は人工呼吸中の気道内圧と換気量の関係を示す。この図から人工呼吸器が行った仕事量を示すものはどれか。番号を解答欄 **選4** にマークせよ。[6]



- 1) ABCD で囲む部分
- 2) AECD で囲む部分
- 3) ABCE で囲む部分
- 4) ABCF で囲む部分
- 5) AECF で囲む部分

[正解] (選4) = 4)

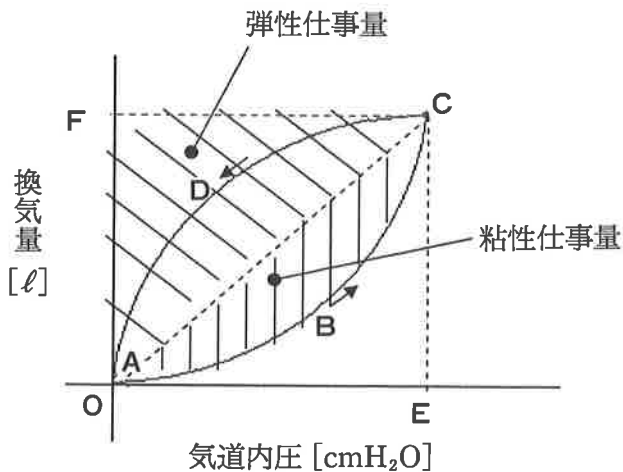
[解説] 1回の呼吸サイクルで圧力(P)の変化と換気量または肺気量(V)との関係を示すものを圧-量曲線(P-Vカーブ)またはP-Vループという。この圧-量曲線は、呼吸器系の弾性仕事量(肺や胸郭の弾性力に抗して肺を膨らめる力)、粘性仕事量(肺内に空気が移動する際の気道抵抗に打ち勝つ力)の呼吸器の仕事に関わる因子を示すため、気道抵抗や肺・胸郭コンプライアンスの特性を把握するために重要な指標になる。

(1)肺コンプライアンスとは弾性抵抗の逆数で、肺や胸郭の膨らみ易さの指標になる。気道抵抗をゼロと仮定すると、圧力と換気量の変化は図のAとCを結ぶ直線を描くように動く。つまりこの直線の傾きは肺・胸郭コンプライアンスを示す。

(2)粘性抵抗とは肺や気道内を空気が移動する際に生じる摩擦抵抗のことである。その抵抗に打ち勝つ力を粘性仕事量といい、図のABCの部分で囲まれる部分である。この粘性仕事量の大部分は気道抵抗によるものである。

(3)弾性抵抗とは肺や胸郭の弾性に対する抵抗のことである。この抵抗に抗して肺や胸郭を膨らめる力を弾性仕事量といい、図のACFで表される三角形の部分である。

つまり、人工呼吸器が行った仕事量は粘性仕事量と弾性仕事量を表すABCFで囲まれる部分である。



【選択問題5】 高気圧治療の適応のうち、増量した溶解型酸素による低酸素性障害の改善効果のみを期待するものはどれか。解答欄 **選5** にマークせよ。[6]

- a. 一酸化炭素中毒症
- b. 腸閉塞症
- c. 減圧症
- d. ガス壊疽
- e. 突発性難聴

- 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) = 4)

[解説] 高気圧治療は高い気圧環境の内部に収容した患者に高濃度酸素を吸入し、これによって増量した血液の溶解酸素を利用して低酸素症の改善を目的とした酸素療法である。

高気圧治療の適応は、その奏効機序から次の4群に分類できる。

(1)上昇する環境圧力の物理的な効果だけに治療効果を期待するもの

例：減圧症（空気再圧の場合）

(2)増加した溶解型酸素による低酸素性障害の改善効果を主要機序とするもので、大部分の低酸素症がこれに該当する。

例：一酸化炭素中毒、出血性ショック、急性または慢性の末梢血行障害、各種低酸素性脳機能障害、網膜動脈閉鎖症、突発性難聴など

(3)溶解型酸素の増量と上昇した環境圧力の相乗効果に治療効果を期待するもの

例：減圧症（酸素再圧の場合）、空気塞栓症、腸閉塞症（イレウス）など

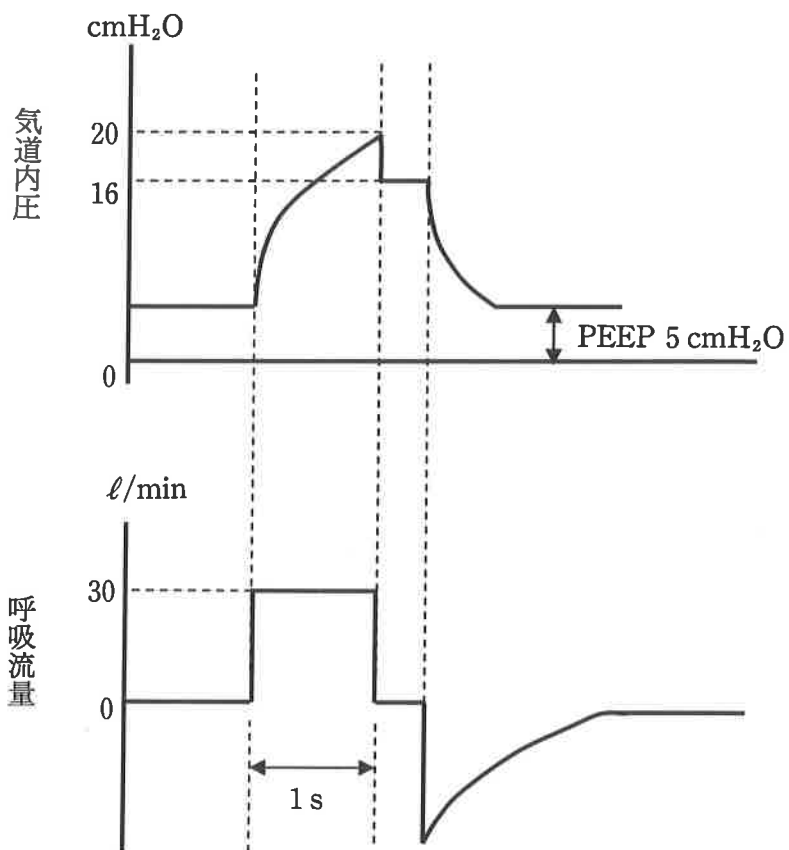
(4)増量した溶解型酸素が及ぼす毒性に治療効果を期待するもの

例：ガス壊疽、悪性腫瘍に対する他の治療法との併用療法など

- a. 一酸化炭素中毒———上記(2)
- × b. 腸閉塞症———上記(3)
- × c. 減圧症———上記(3)
- × d. ガス壊疽———上記(4)
- e. 突発性難聴———上記(2)

なお、突発性難聴の原因や病態は不明であり、循環障害、ウイルス感染、リンパ水腫、血管内皮細胞障害などが原因として推定されており、本質は内耳の循環障害による低酸素症とそれにもとづく代謝障害と考えられている。

【選択問題 6】 下図は従量式人工呼吸器使用中の気道内圧波形と吸気流量波形である。この波形から気道抵抗(気管チューブを含む)は何 $\text{cmH}_2\text{O}/\ell/\text{s}$ か。番号を解答欄 **選6** にマークせよ。[6]



- 1) 8.0 2) 10.0 3) 15.0 4) 20.0 5) 22.0
 6) 30.0 7) 33.3 8) 38.5 9) 40.0 10) 45.4

[正解] (選6) = 1)

[解説] 人工呼吸中に表される気道内圧および吸気流量波形をもとに気道抵抗を求める問題である。

本来、ガスが流れている吸気相での気道抵抗 (R) は、

$$R = (P_{mo} - P_{alv}) / \dot{V}$$

(P_{mo} : 気道の入口 (口元), P_{alv} : 肺胞内圧, \dot{V} : 単位時間あたりの流量)

で求められるが、肺胞内圧は実際には測定できない。そのため人工呼吸中は気道内圧波形から圧力差を求める。すなわち

$$R = (PIP - PEIP) / \dot{V}$$

(PIP : 最高気道内圧 : peak inspiratory pressure, PEIP : 吸気終末ポーズ圧)

で求められる。

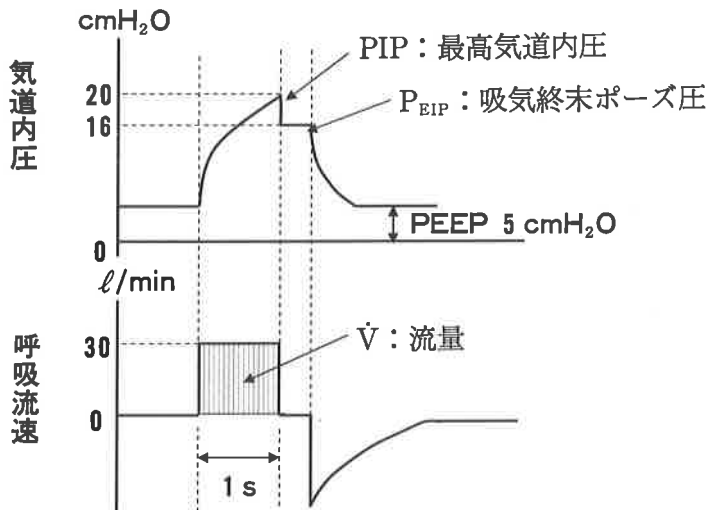
単位時間あたりの流量は

$$30 \text{ l} / 60 \text{ s} \times 1 \text{ 秒} = 0.5 \text{ l/s}$$

である。

$$\text{以上から } R = (20 - 16) / 0.5 = 8 \text{ cmH}_2\text{O} / \text{l/s}$$

正解は 1) である。



【選択問題7】 IABP 装置使用時に高圧アラームが発生した。原因として考えられないのはどれか。番号を解答欄 **選7** にマークせよ。[6]

- 1) バルーンカテーテルの折れ
- 2) 大動脈の狭窄
- 3) バルーンカテーテルのラッピング開放不良
- 4) バルーンラプチャー(破裂)による凝血
- 5) ヘリウムボンベのバルブ開放不良

【正解】 **選7** = 5)

【解説】 IABP 装置の高圧アラームは、基本的にはバルーンが十分に膨張しない状態が発生したときに発生する。

- 1) 患者の体動などにより、バルーンカテーテルが折れ曲がることもあるが、そうなる曲がった箇所から先にガスが行かなくなり、ポンプのバルーン圧検出部分に過大な圧力が生じ、高圧アラームが発生する。
- 2) バルーン留置部分の大動脈に狭窄があると、バルーンが十分に膨張しない状態になり、狭窄の程度によっては高圧アラームが発生する。
- 3) カテーテル挿入時はバルーン内に陰圧をかけることによって、カテーテルの軸に巻きつけた(ラッピング)状態を保持しているが、挿入後に陰圧を解除すると、このラッピング状態は自然に開放される。しかし、きつく巻き過ぎている場合などは、バルーンが開放不良状態になり、高圧アラームが発生することがある。
- 4) バルーンラプチャー(破裂)によりバルーン内に血液が浸入すると、凝血塊となってバルーンの膨張を阻害し、高圧アラームが発生することがある。
- ×5) ヘリウムボンベのバルブ開放不良があると、ヘリウムガスが不足していることを示すアラームは発生するが、高い圧力がかかるわけではないので、高圧アラームは発生しない。

【選択問題8】 心電図モニタについて不適切なのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 入力換算雑音の許容値は $35 \mu\text{V}_{\text{p-p}}$ である。
- 2) 12 誘導心電図を得るために 9 個のバッファアンプを使用している。
- 3) 基線動揺を抑制するために無位相(リニアフェイズ)フィルタを使用している。
- 4) 同相信号の抑制比は 60 dB である。
- 5) 各電極取り付け間のインピーダンスは $5 \text{M}\Omega$ である。

[正解] (選 8) = 4)

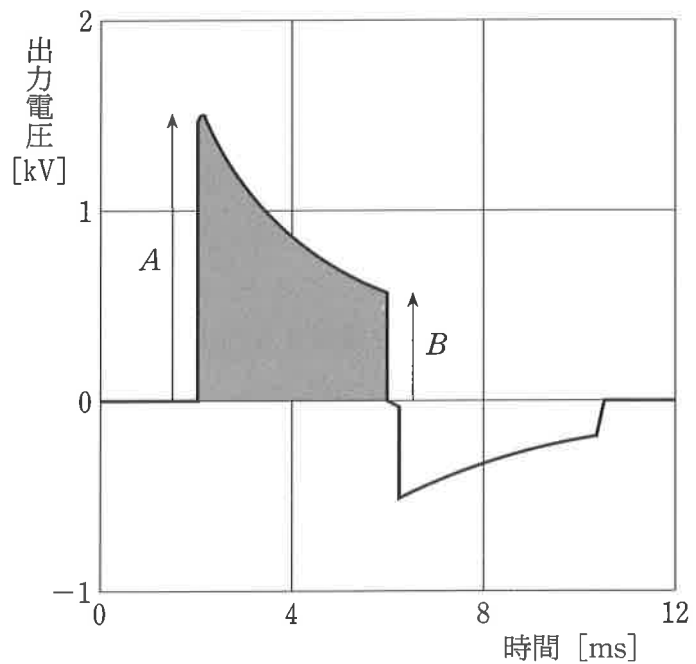
[解説] 心電図モニタの性能規格として心電図監視装置の JIS T 1304 がある。

以下、これをもとに解説する。

- 1) 内部雑音は、JIS で、各入力に $27\text{ k}\Omega$ の抵抗を接続し、入力換算 $35\text{ }\mu\text{V}_{\text{p-p}}$ 以下と規定している。
- 2) 増幅器は、各電極部位の接触インピーダンス (バラツキも含む)、誘導回路網の影響 (入力端子間のインピーダンス低下) などを考慮し、各誘導電極ごとに 9 個 ($R \cdot L \cdot F \cdot C_1 \sim C_6$) のバッファアンプを設けている。
- 3) 心電図モニタは、同一の患者の心電図を長時間監視するので、この間に起こる基線の動揺 (主に体動などによる生体と電極間の分極電圧の変化) が問題になる。この対策として、時定数を小さくしたり、アナログフィルタが利用されたが、これでは低周波部分に波形歪みを生じ、とくに S-T 間部を判読する上で問題があった。そこで最近ではデジタ技術が応用され、基線の動揺と波形歪みが大きく改善した。この無位相 (リニアフェイズ) フィルタもその一つである。この詳細は講習会テキスト (B. 第 1 章) を参照されたい。
- × 4) 同相信号の抑制比 (弁別比) は、JIS で何 dB というように数値で示していないが、この JIS による測定法に従えば、同相信号の抑制比は約 89 dB 以上になる。この詳細は、第 9 回第 1 種 ME 技術実力検定試験問題解説 (午後・選択 16) を参照されたい。
- 5) これも JIS で、各電極部位の接触インピーダンス、分極電圧などを考慮し、各電極取り付け間のインピーダンスを $5\text{ M}\Omega$ 以上と規定している。

【選択問題 9】 下図は、2相式除細動器の設定エネルギー100 J、負荷抵抗 50Ω に対する出力電圧波形である。指数関数波形の立上りの電圧を A [kV]、切取った断端の立下り電圧を B [kV]とする。いま、陽性相(灰色部分)で出力されるエネルギーが充電エネルギーの75%であるとき、 B/A の値はいくらか。番号を解答欄 **選9** にマークせよ。ただし、コンデンサに充電されたエネルギーは負荷抵抗を通して放電されるものとする。[6]

- 1) 0.3
- 2) 0.4
- 3) 0.5
- 4) 0.6
- 5) 0.7



【正解】 (選9) = 3)

【解説】 現在市販されている除細動器の出力波形は、AED を含めてほとんどの機種で単相式から2相式への移行が進んでいる。これは、単相式に比べ2相式が優れているとされていることによるが、両者の優劣を断定できるエビデンスはないのが現状である。したがって、2006年に改定された日本版救急蘇生ガイドライン（日本救急医療財団）では2相式が推奨されているが、単相式の使用も否定されていない。初回エネルギー量については、2相式AEDではメーカー推奨量、単相式AEDでは200Jとしている。

題意のように、2相式除細動器においてコンデンサに充電されたエネルギーが負荷抵抗を通じて放電されるものとする、負荷抵抗の端子電圧（出力電圧、すなわち問題文図中のAあるいはB）はコンデンサの端子電圧（V）と等しくなる。コンデンサの静電容量をCとすると、コンデンサの充電エネルギー（W）は、 $W = 1/2 \cdot CV^2$ で表せる。いま、Vの値が放電によって半分（ $B/A = 0.5$ ）に減少したとすると充電エネルギーは、 $W = 1/2 \cdot C(0.5V)^2 = 0.25 \cdot 1/2 \cdot CV^2$ となる。したがって、充電エネルギーは放電前に比べ25%に減少し、残りの75%のエネルギーは負荷に出力され、図中の陽性相を形成することになる。

【選択問題 10】 心拍出量測定に関して誤っているのはどれか。番号を解答欄

〔選 10〕にマークせよ。〔6〕

- a. 熱希釈用カテーテルで測定される肺動脈圧は右心系の前負荷の指標として重要である。
- b. 経食道心エコー法は心房を介した心臓の画像から心拍出量が算出できる。
- c. 色素希釈法で使用されるインドシアニングリーンの血中濃度から肝血流量も測定できる。
- d. 熱希釈法の連続法(CCO)はボラス法(BCO)に比べ感染の危険性が高い。
- e. 心内短絡患者に熱希釈法を適用すると脳梗塞を起こすことがある。

- 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10 = 3)

【解説】心拍出量測定にはフィック法、指示薬希釈法（色素希釈法，熱希釈法），超音波法（心エコー図）などがあるが，臨床では熱希釈法と超音波法が主に用いられている。

- × a. 肺動脈圧や肺血管抵抗は右心の後負荷である。右心の前負荷には，右心房圧，中心静脈圧，右心拡張末期圧がある。
- b. 経食道心エコー（transesophageal echocardiography : TEE）は，先端に小型の探触子を装着したプローブを食道内に挿入して，食道や胃の内側から心臓と大動脈の超音波像を描出する検査法である。心内膜をトレースして一回拍出量を連続的に記録でき，左室流出路や大動脈弁部に関心領域を設定して血流速度から心拍出量が求められる。
- c. インドシアニングリーン（indocyanine green, ICG）は緑色の色素で，通常体重1 kg 当たり ICG 0.5 mg を肘静脈より投与する。15 分後に反対側の肘静脈から採血し，805 nm の吸光度から血漿中の濃度を求める。ICG の血中消失（クリアランス）の割合から，肝臓の輸送能（血流量）がわかる。基準値は0～10%である。慢性肝疾患の進行とともに値が上昇する。
- × d. CCO は，冷却液の代わりに右心室に置かれたサーマルコイル（フィラメント）をパルス状に加熱し，発生した熱の下流における温度変化から稀釈曲線を得て，心拍出量を算出する。冷却液を注入しないので輸液過多や測定手技によるばらつきがなく，感染の危険性や不整脈の誘発頻度も低いが，測定値が3～5分間の平均値であるので応答が遅いのが欠点である。
- e. カテーテルのバルーンは挿入前に膨張させてチェックするが，乱暴な操作や大量の空気送込で破裂することがある。数 ml の空気の右心系への混入は致命的ではないが，心内短絡患者では空気が左心系に入り動脈の塞栓（空気塞栓）を起こす可能性があり，その部位の末梢側が梗塞（例えば，脳梗塞）に陥る。

【選択問題 11】 図に遠心ポンプの圧力-流量特性と人工心肺回路の負荷特性を示す。人工心肺による体外循環実施中、ポンプは点Pで動作していた。このときポンプの回転数を上昇させると、動作点はどの位置に移動するか。番号を解答欄 **選11** にマークせよ。ただし、回路の負荷特性は変化しないものとする。

[6]

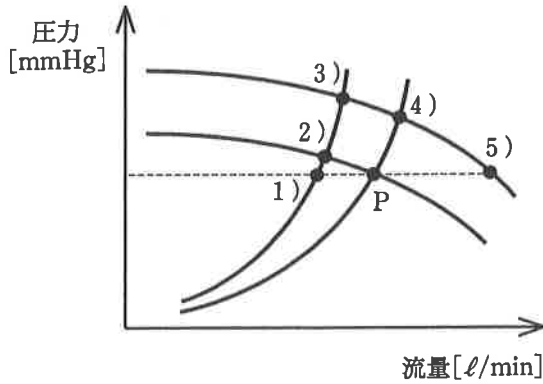


図 遠心ポンプの圧力-流量特性
および回路の負荷特性

【正解】 (選11) = 4)

【解説】 遠心ポンプの動作は圧-流量特性により決まり、回転数が一定の場合、図2のAに示すように圧力が減少すると流量が増加するように変化する。また、回路の負荷特性はBに示すように流量が増加すると圧力が増加する。遠心ポンプはこの両者の交点でバランスをとり動作している。

点Pで動作している状態から回転数を上昇させると、圧流量特性は矢印のように上方に移動して、A'のようになる。ここで回路の負荷特性は変化しないので、B上の点を移動することになる。したがって、回転数を上昇させると点4)の状態 で新たにバランスして動作する。

問題にはないが、回路をクランプするなどして、回路抵抗が上昇すると、負荷特性の勾配は急になり、図2の点線のように変化する。

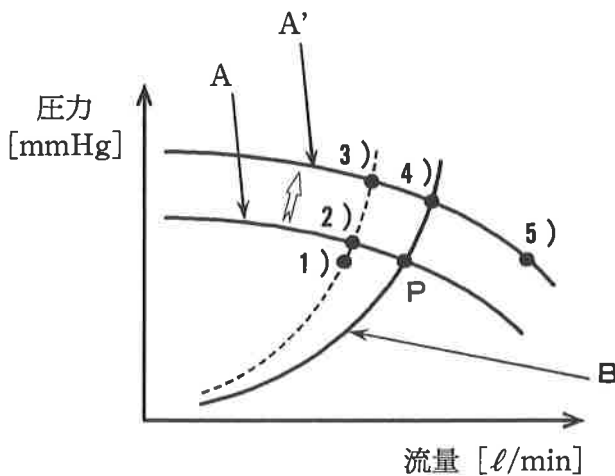


図2 遠心ポンプの圧力-流量特性
および回路の負荷特性

【選択問題 12】 DCA (Directional Coronary Atherectomy) およびロータブレータについて正しいのはどれか。番号を解答欄(選 12)にマークせよ。[6]

- a. DCA は石灰化病変の切除に有効である。
- b. DCA のバルーンの拡張内圧は PTCA のバルーンのそれと同じ程度である。
- c. ロータブレータ先端の回転体にはダイヤモンドが埋め込まれている。
- d. ロータブレータは粥腫病巣の切除に有効である。
- e. ロータブレータの回転数は 15 万回転/分程度である。

- 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12) = 9)

[解説] DCA (directional coronary atherectomy : 冠動脈粥種切除術) は、冠動脈狭窄部のプラークを DCA カテーテルのカッターで切除・除去することにより血管内腔を拡大する方法である。DCA にはガイディングカテーテル、ガイドワイヤ、Y コネクタ、DCA カテーテル、モータードライブユニット、インフレーションデバイスが必要である。ロータブレード (rotational coronary atherectomy) は、高速で回転するドリルにより動脈硬化病変を削る治療法である。バルーンやステントなどでは拡張困難である石灰化の強い病変やびまん性の長い病変に対して有効である。

- × a. 上述の通り、堅い動脈硬化病変には DCA ではなくロータブレードが有効である。
- × b. DCA カテーテル先端には、カッターの反体側にバルーンがある。このバルーンを拡張することにより、カッターを粥種に密着させ切除を行う。一般に PTCA で使用する圧よりも低圧で施行される。通常 10~20 psi (0.68~1.36 atm) 程度の拡張圧で拡張を始め、血管内腔の拡大に伴い徐々に圧を上げる。その圧は高くても 60~80 psi (4.08~5.44 atm) 程度である。PTCA のバルーン拡張圧はおよそ 3~6 atm である [psi (pound per square inch) : 1 atm=14.7 psi]
- c. 先端はラグビーボール状で、前側半分が微細 (20~30 μ m) な人工ダイヤモンド粒子で覆われている。
- × d. 上述の通り、粥種病変には DCA が有効である。
- e. 記述の通り。回転の動力源として窒素ガスや圧縮空気が (90~110 psi, 140 l/分) 用いられる。

【選択問題 13】 血液透析の患者監視装置の始業点検で、警報による作動点検を行うことが望ましいのはどれか。番号を解答欄 **選13** にマークせよ。[6]

- a. 気泡検知器
- b. 透析液濃度計
- c. 漏血計
- d. 透析液流量計
- e. 静脈圧計

- 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13** = 4)

【解説】「透析医療事故防止のための標準的透析操作マニュアル」（平成12年度厚生科学特別研究事業，平成13年4月，社団法人日本透析医会）では，透析開始時の点検として，「の透析条件の指示に従い各設定を行う。併せて，静脈圧計，透析液圧計，気泡検出器等全ての警報機能の設定を再確認する。」としている。なお，b. 透析液濃度計，c. 漏血計，d. 透析液流量計は，治療開始前（準備）にその検知機能，警報機能が正常であることを確認することが推奨されている。

その他，透析中は患者の一般状態の確認と透析装置の動作確認と記載を行う。

(図-1)

(参考資料：平沢由平ら：透析医療事故の実態調査と事故対策マニュアルの策定に関する研究，透析会誌 34 (9)：1257～1286, 2001.)

(最低1時間ごとの経時チェック項目)

項目	方法	裁定法など
一般確認	視診・会話等による	
血圧	血圧計による測定・記録	
脈拍	触診による測定・記録	
血液ポンプの確認	血圧液量の記録	
シャント・穿刺部の確認	目視確認	血液状態，穿刺部からの出血の有無，穿刺針の固定とルーアロックの状態
血液回路の固定・捻れや折れ	目視確認	
動・静脈エアートラップ液面の確認	目視確認	
静脈圧の確認	圧力の記録	経時的な圧力変化
透析液減圧の確認	圧力の記録	経時的な圧力変化
TMPの確認	圧力の記録	経時的な圧力変化
積算除水量の確認	除水量の記録	除水速度設定値との照合
ダイアライザおよび血液回路の凝血	動静脈圧，目視	経時的な圧力変化，エアートラップのメッシュの状態
抗凝固薬注入量の確認	注入量の記録	注入速度との照合
透析液流量の確認	流量計および流量表示	
透析液温度の確認	透析液温度の確認	

(参考資料より引用，一部改変)

図-1 透析中の患者監視チェックリストへ記載すべき項目

(※1「気泡検知器」は，一般的に「気泡検出器」と記される。)

【選択問題 14】 血液透析装置の水処理系で、治療終了後毎回消毒が必要なものはどれか。番号を解答欄 **選14** にマークせよ。[6]

- a. プレフィルタ
- b. 軟水装置
- c. 透析液配管
- d. 透析液供給装置
- e. RO 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] (選14) = 8)

[解説] 平成11年度厚生科学特別研究事業「透析医療における感染症の実態把握と予防対策に関する研究班」報告書「透析医療における標準的な透析操作と院内感染予防に関するマニュアル（改訂版 第2刷）で「透析液供給装置・回路のなかで、

1. 多人数用透析液供給回路は、毎日、0.02%次亜塩素酸ナトリウム等で自動洗浄する。また、週1回は0.3~1.0%酢酸で洗浄する。
2. 個人用透析装置、供給回路は、使用日ごとに、0.02%次亜塩素酸ナトリウム等で洗浄する。また週1回以上は0.3~1.0%酢酸で洗浄する。」

としている。

a. プレフィルタは水質の程度により期間を設定し、定期的な交換を行う。b. 軟水装置は処理量に応じて、毎日あるいは数日間使用したあとに高ナトリウムに溶液による再生を行う。

e. RO装置は、使用状況、機種によって異なるが1ヶ月から数ヶ月の一定期間使用してから、RO膜の洗浄と消毒を行うのが一般的である。

(参考資料：秋葉 隆ら：透析医療における標準的な透析操作と院内感染予防に関するマニュアル，厚生省厚生科学研究特別事業「透析医療における感染症の実態把握と予防対策に関する研究班」平成11年度報告書，2000.)

【選択問題 15】 Acetate Free Biofiltration (AFBF) で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]

- a. 炭酸水素ナトリウム注射液を透析液供給側へ注入する
- b. アルカリ化剤を含まない透析液で透析を行う
- c. 炭酸水素ナトリウムの投与量は血液流量で規定される
- d. 透析液に 7.5~10 mEq/l の酢酸が配合されている
- e. 血液透析濾過法の post-dilution と血液回路構成が類似している

- 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] (選15) = 3)

[解説] アセテートフリーバイオフィльтраーション (AFB: Acetate-free Biofiltration) は、透析液に酢酸、炭酸水素ナトリウムなどの緩衝液をまったく含まず、等張性炭酸水素ナトリウム溶液を直接、血液中に注入することで酸塩基平衡の是正を行う。

AFBの特徴は、後希釈法の血液濾過法 (HDF) と同様であるが、血液中に直接、注入する炭酸水素ナトリウム (1.4%) の量は、ダイアライザから除去される重炭酸イオン (HCO_3^-) 見合った量を補充される。通常、血液流量 150 ml/min で補充液流量は 19.5 ml/min (血液流量の 13%, 1,170 ml/h) の速度での補充が推奨されている。

維持透析患者における AFB の標準的な治療条件として、治療回数: 通常週 3 回、透析時間: 4 時間 (交換量は血液流量の 13% 程度で調整)、血液流量: 100~250 ml/min としている。

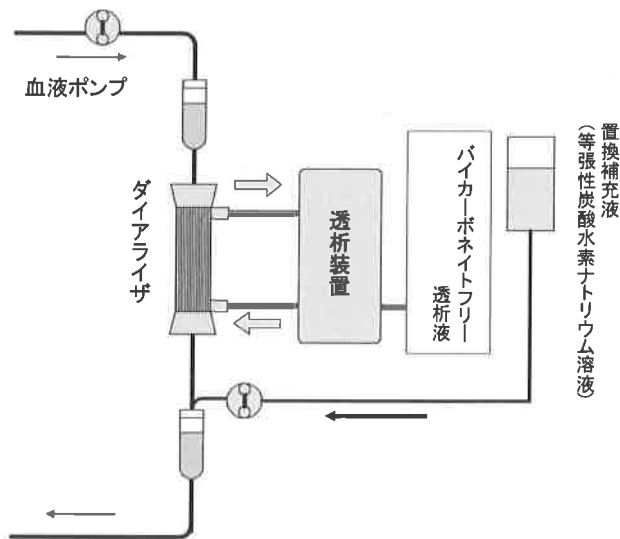


図-2 アセテートフリーバイオフィльтраーション (AFBF)

(参考資料: 高橋 進, 他: 慢性腎不全に対する AFB 用薬剤 BHK の臨床評価: 新薬と臨床, Vol.48 No.3, 424-453, 1999)

【選択問題 16】 血液透析におけるダイアライザのクリアランスを高める条件として不適切なのはどれか。番号を解答欄(選16)にマークせよ。[6]

- a. 透析液流量と血液流量を一致させる。
- b. 透析液を無菌化する。
- c. 透析液の流れを均一にする。
- d. 血液と透析液の流れを向流にする。
- e. ダイアライザの膜面積を増加させる。

- 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16)=1)

【解説】

- × a. 透析液流量と血液流量を一致させることは無関係、いずれも増やした方がクリアランスは高まるが、比例関係はない。
- × b. 透析液を無菌化してもクリアランスの変化はない。
- c. 透析液の流れを均一にすると膜表面を有効に利用できるため、クリアランスは高まる。
- d. 血液と透析液の流れは、平行かつ反対方向に流す“向流操作”の方が拡散移動効率が高くなり、クリアランスは高まる。
- e. ダイアライザの膜面積を増加させると、物質の拡散量が増加し、クリアランスが高まる。

【選択問題 17】 透析液エンドトキシンと関連の深いものはどれか。番号を解答欄(選17)にマークせよ。[6]

- a. グラム陽性菌
- b. 黄色ブドウ球菌
- c. 大腸菌
- d. エクソトキシン
- e. リポポリサッカライド

- 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17) = 9)

【解説】 エンドトキシンはグラム陰性菌外膜に存在する菌体毒素である。一方、グラム陽性菌から放出される菌体毒素はエクソトキシンと呼ばれている。分析技術が未熟だった頃、生菌から放出されたグラム陽性菌毒素は、細菌の外側(Exso-)に存在していると考えたため、エクソトキシンと命名された。グラム陽性菌毒素は菌を死滅することによって大量放出されたため、細菌の内側(Endo-)に閉じ込められていると考えたため、エンドトキシンと命名されている。実際には細胞外膜に大量のエンドトキシンが存在しており、細胞膜を破壊することによってエンドトキシンが大量に放出される。エンドトキシンの構造は脂質と糖鎖からなるリポポリサッカライドであり、分子量は2000程度からといわれている。

- b. 黄色ブドウ球菌はグラム陽性菌、c. 大腸菌はグラム陰性菌であり、c. と e. が正解である。

参考文献

竹澤真吾 編：血液透析とエンドトキシン 東京医学社 2002

【選択問題 18】 図に示すような回路構成にて、ダイアライザの性能を表すクリアランス(K)を尿素ならびに β_2 -ミクログロブリンについて評価したところ、表の結果を得た。

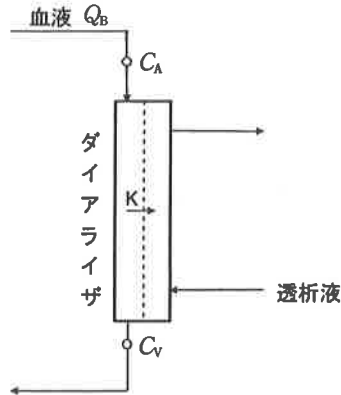


図 ダイアライザの回路構成

表 ダイアライザのクリアランス K [ml/min]

血流量 Q_B [ml/min]	尿素	β_2 -ミクログロブリン
100	98.5	18.0
200	172.5	18.4
300	217.5	18.5

ただし、 Q_B は血流量、 C_A 、 C_V はダイアライザ入口側、出口側溶質濃度で、 K は次式で定義される。

$$K = (1 - C_V / C_A) \cdot Q_B$$

以下の文章で正しいものはどれか。その番号を解答欄(選18)にマークせよ。

[6]

- a. β_2 -ミクログロブリンよりも尿素の方が分子量は大きい
- b. β_2 -ミクログロブリンの K は透析液流量に依存する。
- c. 尿素の K が Q_B に比例しないのは、高 Q_B ほどダイアライザ内滞留時間が短くなるためである。
- d. C_A 一定下で Q_B を増加させると尿素の C_V 値は小さくなる。
- e. K の値は Q_B を超えることはない。

- 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] (選18) = 9)

[解説] ダイアライザの溶質除去特性に関する問題である。正しいのは、c、eである。

× a. β_2 -ミクログロブリンは尿素より分子量は大きく、拡散速度が遅いため K の絶対値は尿素より小さい。

× b. このダイアライザの β_2 -ミクログロブリンの K はほとんど変化していないので、血流量や透析液流量には影響を受けず、膜透過性に強く依存すると考えられる。

○ c. 尿素の K は Q_B に強く依存するが比例しないのは、高 Q_B ほどダイアライザ内滞留時間が短くなり、通過前後の除去効率 ($= 1 - C_V/C_A$) が低下するためである。

× d. c の理由から、高 Q_B ほど除去効率が低下、すなわち、 C_V は増加する。

○ e. 通過前後の除去効率 ($= 1 - C_V/C_A$) は 1 を超えることはないため、 K の値は Q_B を超えることはない。

【選択問題 19】 有効膜面積 1.6 m^2 のダイアライザの濾過係数を求めるため、濾液側を大気開放にした限外濾過法を用いて濾液量を測定した。血液流量 200 ml/min 、ダイアライザの血液側入口圧 120 mmHg 、出口圧 80 mmHg において、3分間に 120 ml の濾液が得られた。このときの濾過係数は何 $\text{ml}/(\text{hr} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mmHg})$ か。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 7.5
- 2) 15
- 3) 24
- 4) 40
- 5) 100

【正解】 (選19) = 2)

【解説】 限外濾過率 L_P はダイアライザの透水性を表す指標の一つである。通常透析液を用いず、一定の圧力を血液側に印加し、濾液量を計測する ECUM (extracorporeal ultrafiltration method) によって測定する。

各数値の関係式は以下のようになるが、濾液側圧 P_F が 0、濾液流量 Q_F が $120/3$ [ml/min] となることに気を付ける。

$$\begin{aligned} TMP &= \frac{P_{B_i} + P_{B_o}}{2} - P_F \\ &= \frac{120 + 80}{2} - 0 = 100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} UFR &= \frac{60 Q_F}{TMP} \\ &= \frac{60 \cdot 120/3}{100} = 24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_P &= \frac{UFR}{A} \\ &= \frac{24}{1.6} = 15 \end{aligned}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{B_i} : \text{血液入口圧 [mmHg]} \\ P_{B_o} : \text{血液出口圧 [mmHg]} \\ P_F : \text{濾液側圧 [mmHg]} \\ TMP : \text{膜間圧力差 [mmHg]} \\ Q_F : \text{濾液流量 [ml/min]} \\ UFR : \text{限外濾過率 [ml/(hr \cdot mmHg)]} \\ A : \text{有効膜面積 [m}^2\text{]} \\ L_P : \text{濾過係数 [ml/(hr \cdot m}^2\text{ \cdot mmHg)]} \end{array} \right.$$

【選択問題 20】 肝癌治療用に使われる RFA(ラジオ波焼灼法)について正しいのはどれか。番号を解答欄(選 20)にマークせよ。[6]

- 1) 通電する高周波の周波数は 2450 MHz である。
- 2) 病巣部を火花放電によって焼灼する。
- 3) 電極はバイポーラ方式が主流である。
- 4) 複数の対極板を必要とするものが多い。
- 5) 1 回の通電時間は一般の電気メス手術より短い。

【正解】 (選 20) = 4)

【解説】 RFA は Radio Frequency Ablation のことで、ラジオ波焼灼法とかラジオ波凝固法などと訳されている。患部(肝臓への適用がほとんど)へ電極を挿入して、電気メスと同じ程度の高周波(ラジオ波)を流して、患部を熱的に凝固・壊死させる手術法である。挿入する電極は、単針のものと複数針のものがあるが、前者は、針内に冷水を循環させて、針表面を冷却することによって針周囲に球状の凝固塊を作り、後者は針を展開して(展開針とも呼ばれる)その周囲に球状の凝固塊をつくる。出力は 50~200 W くらいで、電気メスより低出力ではあるが、電極の生体組織への接触面積が大きいため負荷抵抗としては 50Ω くらいになり、出力電流は 1~2 A と電気メスより大きくなるので、対極板での電流密度は電気メス以上になる。このため、複数枚の対極板を使わなければならない機種もある。

- × 1) 通常、電気メスと同じ程度の 500 kHz 付近の高周波が使われる。2450 MHz のマイクロ波メスを使う凝法もあるが、こちらはマイクロ波凝固法と呼ばれる。
- × 2) 組織内通電であるので、火花を発生させると蒸気爆発によって、組織内圧が急上昇して危険である。温度を制御しながら、通常 100°C 以下で長時間(数分~数 10 分) 通電して凝固させる。
- × 3) 対極板を使用するバイポーラ方式で、まだバイポーラ方式は使われていない。
- 4) 凝固電流が大きいため、対極板が複数必要とするものもある。ちなみに最大 200 W の出力を出せるものでは、対極板を 4 枚使用するものもある。
- × 5) 電気メスの 1 回の通電時間は数秒であるが、RFA は低い電流密度での熱凝固が目的であるので、数分~数 10 分の通電(間欠通電もある)を必要とする。

【選択問題 21】 筋電計の基本性能で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. 入力インピーダンス—— $10\text{ M}\Omega$ 以上
- b. 最大感度—— $50\text{ }\mu\text{V}/\text{cm}$ 以上
- c. 入力換算雑音—— $10\text{ }\mu\text{V}_{\text{p-p}}$ 以下
- d. 弁別比—— 60 dB 以上
- e. 周波数特性—— $20\text{ Hz}\sim 3\text{ kHz}(-3\text{ dB})$

- 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) = 7)

【解説】 随意筋に針電極を刺入して随意収縮で得られる筋活動電位は正常筋では 1 mV 前後であるが安静時でも記録される線維自発電位などの異常筋電図の大きさは $30 \mu\text{V} \sim 200 \mu\text{V}$ と非常に低電位であり、また神経再生時や脊髄炎などでは 10 mV 以上の高振幅電位となることがあるなど、そのダイナミックレンジは心電計や脳波計より広い。また針筋電図や誘発筋電図は脳波や心電図よりも高い周波成分をもっており少なくとも $2 \sim 3 \text{ kHz}$ までの高周波成分を増幅できるものが必要である。できれば 10 kHz 以上まで増幅できる筋電計であることが望ましい。

- a. JIS T 1150 による筋電計 (以下 JIS) の性能によれば入力インピーダンスは $10 \text{ M}\Omega$ 以上であるが、これは筋電計の最低の性能基準であるため実際には $500 \text{ k}\Omega \sim 1 \text{ M}\Omega$ の高い電極接触インピーダンスをもつ単線維筋電図などの計測にも使用できるように $50 \sim 100 \text{ M}\Omega$ の高い入力インピーダンスをもった筋電計がほとんどである。
- × b. 前述したように異常筋電図の中には $30 \mu\text{V}$ 程度の低電位もあることから、JIS では最大感度として $1 \text{ cm}/10 \mu\text{V}$ 以上となっている。したがって問題の $50 \mu\text{V}$ が 1 cm の振れの感度は低すぎる。
- c. JIS による入力換算雑音は高域遮断周波数を最低位置に低域遮断周波数を最高位置に設定した場合に、 $10 \mu\text{V}_{\text{p-p}}$ を超える雑音が 1 秒間に 1 回以内であることと規定している。
- d. 脳波計の弁別比同様 JIS では 60 dB 以上となっている。現在市販されている筋電計の弁別比は 80 dB 以上である。
- × e. 一般に筋電計の時定数は 0.03 秒 が用いられるため低域遮断周波数は 5.0 Hz となる。JIS では低域遮断周波数は $2, 5, 10 \text{ Hz}$ の中から 1 つ選ぶことになっている。また JIS の正弦波特性として 100 Hz を 100% とし、 $2 \text{ Hz} \sim 10 \text{ kHz}$ で $70 \sim 110\%$ 以内となっている。従って $20 \text{ Hz} \sim 3 \text{ kHz}$ で -3 dB (約 70%) は基本性能としては適当ではない。

【選択問題 22】 スパイロメータについて正しいのはどれか。番号を解答欄

〔選 22〕にマークせよ。〔6〕

- a. 差圧型ではキングの式を適用する。
- b. 熱線式では金属メッシュを用いる。
- c. ローリングシールド型ではポテンショメータを使う。
- d. リリー型では白金線を用いる。
- e. フライッシュ型では金属細管を用いる。

- 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 22〕 = 9)

【解説】 肺から出入りする肺気量や流量（気速）を記録する装置をスパイロメータという。気量とは肺の容積すなわち量（mlまたは l ）そのものであり、流量とは単位時間に移動する気体の量（ml/sまたは l/min ）すなわち気速で定義される。流量は流速（cm/sまたはm/s）に断面積（ cm^2 または m^2 ）を乗じたものである。従って流量を時間積分したものが気体の量すなわち気量（mlまたは l ）である。スパイロメータには直接気量を計測できるものと流量（気速）を計測しそれを時間積分することで気量を計測するものがある。流量の測定には気速計（ニューモタコメータ）と熱線式流量計がある。ニューモタコメータの流量検出方式にはFleisch（フライッシュ）型とLilly（リリー）型がある。一方直接気量が測定できるものにベネディクト・ロス型やローリングシールド型がある。

× a. 差圧型は気流が流れている回路に抵抗体（ステンレス細管またはステンレス製の金網）を挿入したとき流量が小さい場合にはハーゲン・ポアズイユの式により流量 F はその抵抗体の上流と下流の圧力差 ΔP に比例することを利用したものである。

× b. 熱線式は気流の流路に約 $400^{\circ}C$ に熱した白金線を置くと、気流が当たるこ

とにより熱が奪われ白金線の温度が下がる。今白金線の温度を一定に保つように奪われた分だけ白金線に電流を流すようにするとキングの式から電流変化が流量の関数となることが知られており、これを利用したものである。

- c. ローリングシール型はベネディクト・ロス型スパイロメータを横にしたような構造をしている。内筒と外筒とのシールに水を用いるのではなくラバーの薄膜を用い、内筒の気量の変化による水平運動をポテンシオメータの回転運動に変換して気量を直接測定する。
- × d. ニューモタコメータのリリー型は気流回路内の抵抗体がステンレス製金網によるもので、白金線は使用していない。白金線は設問 b の熱線式で使用している。
- e. フライッシュ型は気流回路内の抵抗体としてステンレス金属細管を用い、その抵抗体の上流と下流の圧力差を検出することで気速（流量）を測定するトランスデューサである。その信号を時間積分して気量を求める。

【選択問題 23】 二酸化炭素分圧(PCO₂)電極と関係のあるものはどれか。番号を
解答欄(選23)にマークせよ。[6]

- a. ポリプロピレン透過膜
- b. ガラス電極
- c. 白金線
- d. 赤外線検出器
- e. 重曹水を含んだスペーサ

- 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) = 7)

【解説】二酸化炭素分圧(PCO₂)は基本的にはpH(水素イオン濃度)の測定に用いるガラス電極を用いている。原理はpHの異なる2つの溶液が極めて薄いガラス膜を隔てて存在するとき、ガラス膜の内側と外側の間にpHの差に比例した電圧が生ずることを応用したものである。すなわちガラス膜で隔てた一方を既知のpH値をもつ緩衝液に浸した比較電極に発生する電位を基準として、他方に求めたい溶液を置いてこの基準電位に対する電位を測定する方法である。感度は理想的なガラス電極の場合pH1単位あたりの起電力は25°Cで約60mVといわれている。二酸化炭素分圧用電極はpHガラス電極の前面にCO₂ガスを透過するテフロン膜を張り、さらにテフロン膜とガラス電極薄膜の間に重曹水を含んだスペーサを置く。このスペーサのpHがテフロン膜を透過したCO₂ガスによって変化するとpHの変化に対応した電圧が生ずる。すなわち二酸化炭素分圧に応じた電圧が発生する。実際には電圧出力はlogPCO₂にほぼ比例するので線形出力ではない。PCO₂電極は開発者の名をとりセベリングハウス型電極ともいう。

× a. ポリプロピレン透過膜は酸素透過膜であり、二酸化炭素透過膜は前述したようにテフロン膜である。

- b. 二酸化炭素分圧電極は解説で述べたように pH ガラス電極に二酸化炭素ガス透過膜であるテフロン膜を用いたものである。
- × c. 白金線は酸素分圧 (PO_2) 電極に用いられている。 PO_2 電極は電解液中の陰極に白金線、陽極に Ag-AgCl 電極を用い、この両電極間に約 0.6 V の電圧をかけておくと白金線の陰極部で消費された酸素、すなわち PO_2 に比例した還元電流が生ずる。本法は PO_2 の変化に伴うこの還元電流を計測していることからアンペロメトリック法ともいう。
- × d. 赤外線検出器は一酸化炭素ガス (CO) や二酸化炭素ガス (CO_2) 濃度を測定する場合に使用する。CO ガスや CO_2 ガスが赤外線領域で吸収帯をもっていることを利用したもので、特に CO_2 ガスセンサは患者の麻酔管理や呼吸管理のための呼気二酸化炭素ガスモニタ (カプノメータ) として応用されている。
- e. 解説で述べたようにテフロン膜を透過してきた CO_2 ガスによってスペーサ (ナイロン・メッシュなどに浸して重曹水の量を一定にしてある) の pH が変化するため、この変化をガラス電極で電圧計測したものが PCO_2 電極である。

【選択問題 24】 カテーテルアブレーション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]

- 1) カテーテルアブレーションによる深達度は深くても 5 mm 程度である。
- 2) 抵抗上昇時、定電圧方式の方が定電力方式に比べ過焼灼の危険性が少ない。
- 3) アブレーションの至適組織温度は 90°C である。
- 4) 過焼灼防止のため温度モニタが必要である。
- 5) 血流による cooling effect が大きいと同じ出力でも十分な焼灼が得られない。

【正解】(選 24) = 3)

【解説】

- 1) 記述の通り。
- 2) 記述の通り。通電状態は組織の抵抗値の影響を受ける。高周波微弱電流を流すことにより組織の抵抗値を適宜測定出来る機種が存在する。
- × 3) アブレーションの至適組織温度は 60°C 前後である。
- 4) 記述の通り。設定温度と tip 先端 (組織) の温度のモニタリングが重要である。
- 5) 記述の通り。

【選択問題 25】 超音波断層法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. 高周波の探触子に PVDF(ポリフッ化ビニルデン)が用いられる。
- b. 脂肪腫では超音波の進行方向に対して大きく描出される。
- c. 超音波の第 2 高調波は画像歪みの原因になる。
- d. 周波数に関係なく整合層の厚さは一定である。
- e. 同じ周波数の場合, 振動子の口径が大きい方が方位分解能がよい。

- 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] (選 25) = 8)

[解説]

- a. 探触子の振動子には PZT (ジルコン酸チタン酸塩) や PVDF (ポリフッ化ビニルデン) が用いられる。
- b. 多重反射による後方エコーの増強が見られ、尾を引いたように見える。
- × c. 超音波が生体組織内を伝搬する際に超音波波形が歪み、波形が歪むに従い基本波成分だけではなく基本波の周波数の整数倍にあたる高調波 (ハーモニック) 成分が新たに発生するが、これそのものは画像に影響しない。昨今注目されているハーモニックイメージは、この 2 次高調波成分を処理 (フィルタ法, 位相反転法) することにより映像化している。
- × d. 振動子の音響特性インピーダンスは生体のそれと比べて非常に大きい。そのため振動子表面で超音波パルスが反射してしまい、振動子から生体へ超音波が効率よく伝搬しない。この反射を防ぐために、振動子と生体の中間の音響特性インピーダンスを持つ物質を間に入れる。これを整合層という。この厚みは通常波長の $1/4$ に設計される。
- e. 方位分解能 (Δy) は振動子からの距離を x とすると、円板状振動子では $\Delta y = \theta_0 \cdot x \doteq 1.22 \lambda / D \cdot x$, 矩形振動子では $\Delta y = \lambda / D \cdot x$ である (θ_0 : 指向角, $\sin \theta_0 = 1.22 \lambda / D$, D : 振動子の直径, λ : 波長)。したがって、振動子の口径が大きく、搬送周波数が高い程方位分解能は向上する。

小論文試験問題

ME は医学と工学の境界領域といわれるが、医学と工学に共通な考え方や、医学と工学の根本的な違いについて、あなたはどのように考えているか、800 字以上 1200 字以内で述べなさい。

ただし、800 字に満たない論文は小論文の評価が 0 点になる。 [50]