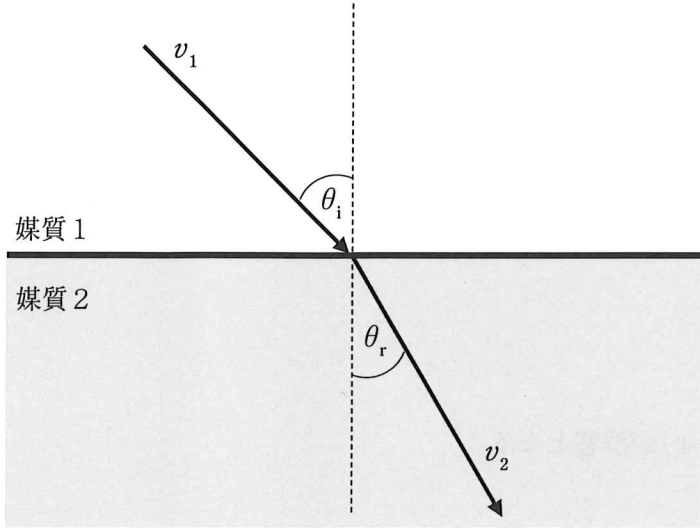


【問題 1】 図のように媒質 1 から媒質 2 に音波が入射した。以下の問いに答えよ。



(1) 媒質 1 と 2 における音速がそれぞれ v_1 , v_2 のとき, 媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率 n_{12} はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[3]

- 1) $\sqrt{\frac{v_1}{v_2}}$ 2) $\frac{1}{\sqrt{v_1 v_2}}$ 3) $\frac{v_1}{v_2}$ 4) $\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2$ 5) $\left|\frac{v_1 - v_2}{v_1 + v_2}\right|$

(2) $n_{12} = \sqrt{2}$, 入射角 $\theta_i = \frac{\pi}{4}$ [rad] のとき, 屈折角 θ_r [rad] はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) $\frac{\pi}{15}$ 2) $\frac{\pi}{12}$ 3) $\frac{\pi}{8}$ 4) $\frac{\pi}{6}$ 5) $\frac{\pi}{3}$

【正解】 ① 3) ② 4)

【解説】 音波が種類の異なる媒質に入射する場合, 媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率 n_{12} (相対屈折率という) と入射角 θ_i および屈折角 θ_r , それぞれの媒質における音速 v_1 , v_2 との間には, 以下のスネルの法則が成り立つ。

$$n_{12} \equiv \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} = \frac{v_1}{v_2}$$

したがって、①は 3) が解答となる。なお、この法則を「屈折の法則」ともいう。

$n_{12} = \sqrt{2}$, 入射角 $\theta_i = \frac{\pi}{4}$ [rad] のとき, スネルの法則にそれぞれ代入すると,

$$\sqrt{2} = \frac{\sin \frac{\pi}{4}}{\sin \theta_r} = \frac{1}{\sqrt{2} \sin \theta_r}$$

となる。よって,

$$\sin \theta_r = \frac{1}{2}$$

であるから,

$$\theta_r = \frac{\pi}{6}$$

となり, ②は 4) が解答となる。

[備考]

音や光などの波動は, 屈折率が異なる境界面で反射や屈折を起こす。このような特性は, 音波の場合は超音波画像診断装置, 光の場合は光ファイバによる光の伝達などに利用されている。

【問題 2】 α 線, β 線, γ 線について誤っているのはどれか。番号を解答欄 ③

にマークせよ。[5]

- a. ある原子核が α 線を放出するとき, 原子番号は 4 減る。
- b. ある原子核が β 線を放出するとき, 原子番号は 1 増える。
- c. ある原子核が γ 線を放出するとき, 質量数は変わらない。
- d. 電離作用が最も大きいのは α 線である。
- e. 物質を透過する能力が最も高いのは β 線である。

- 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】 ③ 4)

【解説】 放射線の本体と性質に関する問題。

- × a. α 線の本体はヘリウムの原子核である。ヘリウムの原子核は陽子 2 個と中性子 2 個からなるので, ある原子核が α 線を放出すると, 原子番号が 2 減り, 質量数が 4 減る。
- b. β 線の本体は高速の電子である。ある原子核が β 線を放出すると, 原子核内の中性子が 1 個の陽子と 1 個の電子に変わるので, 原子番号が 1 増える。
- c. γ 線の本体は短波長の電磁波である。従って, ある原子核が γ 線を放出しても, 原子番号も質量数も変わらない。
- d. 電離作用の大きさは, α 線 $>$ β 線 $>$ γ 線である。
- × e. 物質透過力の大きさは, γ 線 $>$ β 線 $>$ α 線である。 γ 線の遮へいには厚さ数 cm の鉛板が必要である。 β 線は厚さ数 mm のアルミニウム板で遮へい可能である。

【問題3】 分子量 32.0 の理想気体の標準状態(0℃, 1 atm)における密度[g/L]を求め、数値を解答欄 に記入せよ。

ただし、気体定数を 0.0821 L·atm/(K·mol) とし、有効数字 3 桁で答えよ。

[5]

【正解】 ① 1.43

【解説】 分子量 M [g/mol] の気体を質量 m [g] 取ると、その物質量 n [mol] は

$$n = \frac{m}{M} [\text{mol}]$$

となる。これを気体の状態方程式に代入すると、

$$pv = \left(\frac{m}{M} \right) RT$$

が得られる。

また、気体の質量 m [g] は、気体の密度 d [g/L] と体積 v [L] を用いると、

$$m = dv$$

となる。両式から、

$$d = \frac{pM}{RT} [\text{g/L}]$$

が得られ、この式に問題中の各数値を代入することで解答が得られる。

【問題 4】 下の文章中の空欄 から に入る語句として適当なのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[5]

二酸化炭素は水に溶けて炭酸になり、重炭酸(炭酸水素)イオンと水素イオンに解離して以下のような平衡関係になる。



この溶液に酸を加えると重炭酸イオン濃度が し、pH を一定に保とうとする。しかし、過剰量の酸が加えられると pH を一定に保つことができなくなり、pH が する。生体において、腎機能が低下して有機酸の排出がうまくできなくなると pH が異常値を示す。この状態を という。

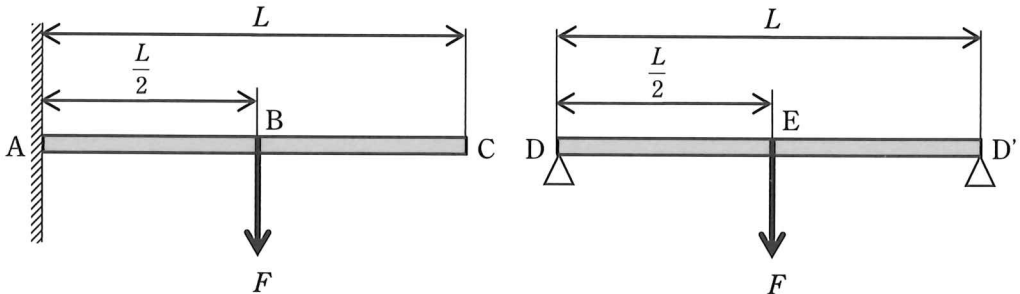
	A	B	C
1)	上昇	上昇	代謝性アシドーシス
2)	上昇	上昇	代謝性アルカローシス
3)	低下	上昇	代謝性アシドーシス
4)	低下	低下	代謝性アルカローシス
5)	低下	低下	代謝性アシドーシス

【正解】 ④ 5)

【解説】 溶液に酸を加えると、平衡が左に移動して、重炭酸イオン濃度は低下し、pH を一定に保つ。さらに過剰量の酸を加えると pH が低下する。血液に有機酸が貯まると、pH が低下するが、この状態を代謝性アシドーシスと呼ぶ。

【問題 5】 長さ L の梁(はり)の中央に下向きに力 F をかける。左の図は点 A で支持する片持ちはり、右の図は点 D および D' で支持する両端支持はりである。点 A～E のうち、曲げモーメントが最大となる点はどれか。番号を解答欄 ⑤ にマークせよ。ただし、はりの重さは無視するものとする。[5]

- 1) A
- 2) B
- 3) C
- 4) D
- 5) E



【正解】 ⑤ 1)

【解説】 梁の力とモーメントのつり合いについて、はりのどの部分で最も大きな応力が発生するのかという、より実際的な知識を問うている。

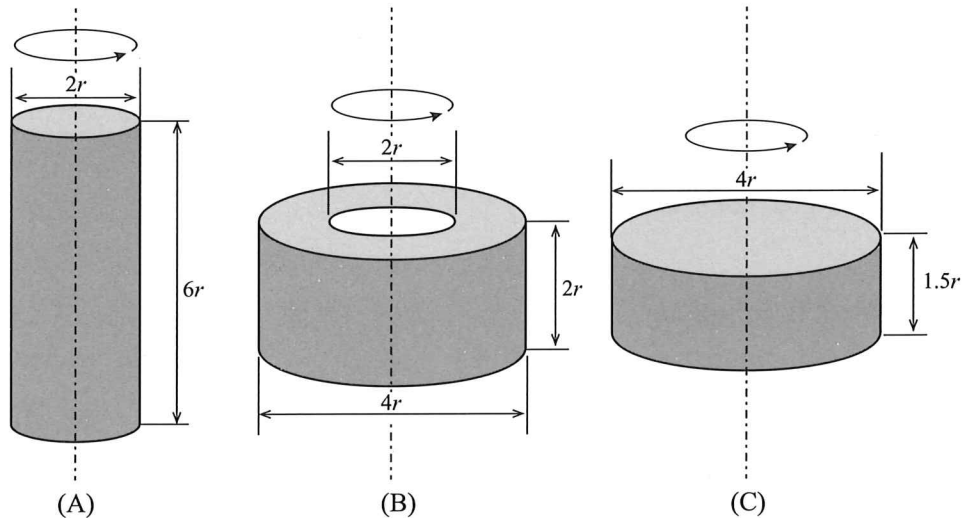
はりおよび荷重条件が同じであれば、両端支持はりより片持ちはりの方が最大曲げモーメントが大きい。また、片持ちはりの場合は力のかかっている場所(B)ではなく固定端(A)にて最も大きな曲げモーメントがかかる。よって曲げモーメントの最大となるのは点 A となる。

正確に計算すると次のとおりである。まず回転に対して拘束されない B, C, D, D' では曲げモーメントは 0 である。点 A の曲げモーメントは $F \times \frac{L}{2}$ である。両端支持はりの点 E における曲げモーメントを求めるには、長さ $\frac{L}{2}$ の片持ちはりの先端に $\frac{F}{2}$ の力がかかった場合と等価であるので、 $\frac{F}{2} \times \frac{L}{2} = \frac{FL}{4}$ である。 $\frac{FL}{2} > \frac{FL}{4}$ より、答えは点 A となる。

【問題 6】 下図のように均質材料，同一質量で作られた(A)厚さ $6r$ で直径 $2r$ の円柱，(B)厚さ $2r$ で外径 $4r$ ，内径 $2r$ の中空円盤，(C)厚さ $1.5r$ で直径 $4r$ の円盤がある。これらを図のように重心を通る回転軸の周りに回転させる。

図の(A)，(B)，(C)を慣性モーメントが小さい順(回転が始まりやすく，止まりやすい順番)に並べたのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[5]

- 1) $A < B < C$
- 2) $A < C < B$
- 3) $B < A < C$
- 4) $B < C < A$
- 5) $C < B < A$



【正解】 ⑥ 2)

【解説】 慣性モーメントを計算すれば解けるが，計算しなくても回転中心軸に近い場所に質量が集中している方が回転しやすい，すなわち回転モーメントが小さいことを理解していれば，正解を得るのは容易で， $A < C < B$ の順となる。

[備考]

ある物体の慣性モーメント I は、回転中心軸からの距離 x の位置にある物体を構成している微小部分の質量 dm に対して $dm \cdot x^2$ を考え、それを物体全体で積算した量である。したがって $I = \int x^2 dm = \int \rho x^2 dV$ で計算できる。ここで ρ は密度、 dV は微小部分の体積である。全質量は $M = \int dm = \int \rho dV$ である。中心軸 r からの距離 x での dV は厚さ dx の円筒を考えると、 $dV = 2\pi hx \cdot dx$ となる。ここで h は円柱の高さである。

上記より半径 r の円柱の慣性モーメントは

$$I_r = \rho \int_0^r x^2 \cdot h \cdot 2\pi x dx = 2\pi\rho h \cdot \frac{1}{4} r^4 = \frac{1}{2} \pi \rho r^4$$

$$M = \pi\rho h r^2 \text{ であるから } I_r = \frac{M}{2} r^2 \text{ となる。}$$

問題の円柱等の慣性モーメントを計算すると

$$(A) \quad I_A = \frac{M}{2} r^2$$

$$(B) \quad I_B = \rho \int_r^{2r} x^2 \cdot 2r \cdot 2\pi x dx = \frac{5}{2} \frac{M}{2} r^2$$

$$(C) \quad I_C = \frac{M}{2} (2r)^2 = 2Mr^2$$

である。

【問題 7】 内径 10 mm, 長さ 1.0 m の円管内を粘度 $1.0 \times 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, 密度 $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ の水が平均流速 0.10 m/s, レイノルズ数 1,000 の一定速度で流れていた。このときの円管の出口と入口の圧力差 [Pa] はいくらか。数値を解答欄 に記入せよ。[5]

【正解】 Ⓑ 32

【解説】 ハーゲンポアズイユの法則を覚えていて、活用できるかどうかを問う問題である。

ハーゲンポアズイユの法則から

$$v_{\text{mean}} = \frac{R^2 \Delta P}{8 \mu L}$$

が得られる。ここで、 v_{mean} は平均流速、 R は内半径、 ΔP は出口と入口の圧力差、 μ は流体の粘度、 L は管長である。

この式を変形すると、

$$\Delta P = \frac{8 \mu L v_{\text{mean}}}{R^2}$$

となり、数値を入れると、

$$\Delta P = \frac{8 \times 1.0 \times 10^{-3} \times 1.0 \times 0.10}{\left(\frac{10 \times 10^{-3}}{2}\right)^2} = 8 \times 4 = 32 \text{ Pa}$$

となる。

【備考】

問題文にレイノルズ数が 1,000 であることが記載されているが、流れが層流であることを明示しているだけであり、計算には使用しない。同様に密度についても計算には使用しない。

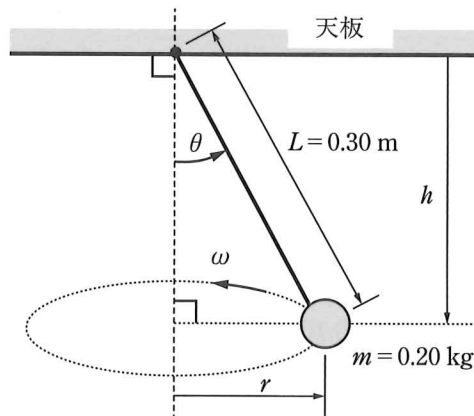
最初の式は流量を求めるハーゲンポアズイユの式

$$Q = \frac{\mu R^4 \Delta P}{8 \mu L}$$

を断面積 πR^2 で割ることにより得られる。

【問題 8】 図のように水平で動かない天板から長さ $L=0.30\text{ m}$ のひもでつるされた質量 $m=0.20\text{ kg}$ のおもりが回転数 $n=60\text{ rpm}$ で回転しているとき、天板からおもりまでのおよその距離 $h[\text{m}]$ はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、ひもの質量や空気抵抗は無視できるものとする。[5]

- 1) 0.050
- 2) 0.10
- 3) 0.15
- 4) 0.20
- 5) 0.25



【正解】 ⑦ 5)

【解説】 図を基におもりに作用する力のバランスを考えると良い。おもりに作用する遠心力 F_c は $F_c = mr\omega^2$ ，おもりに作用する重力 F_g は $F_g = mg$ であるから

$$\tan\theta = \frac{F_c}{F_g} = \frac{mr\omega^2}{mg} = \frac{r}{h}$$

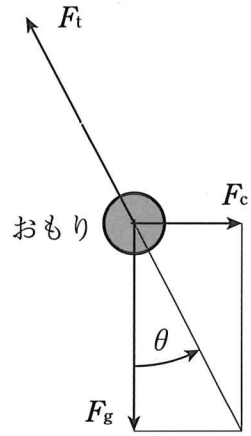
となり、また $n=60\text{ rpm}$ であるから

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi \cdot 60}{60} = 2\pi$$

となる。従って、

$$h = \frac{g}{\omega^2} = \frac{9.8}{4\pi^2} = 0.248[\text{m}]$$

である。



【問題 9】 図 1 のような磁力線で示される一様な磁界中に内部が空洞で比透磁率の大きい球状の磁性体を挿入した。球状の磁性体の中心を通る断面が図 2 に示されるような場合、磁力線の変化で正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

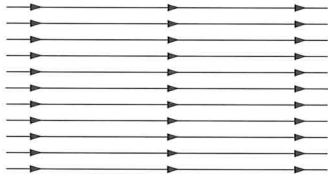


図 1

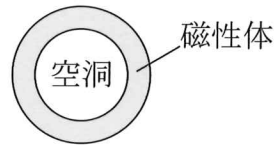
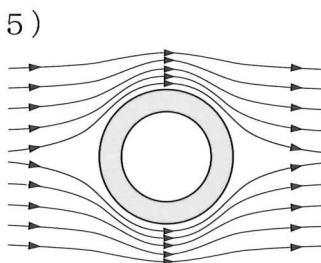
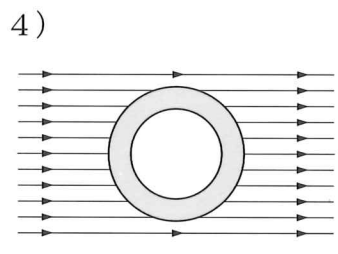
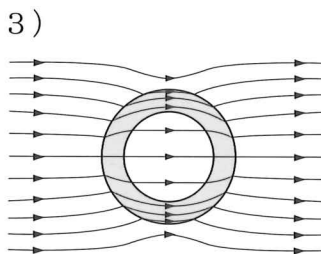
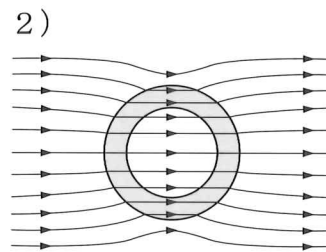
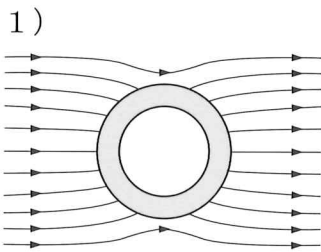


図 2

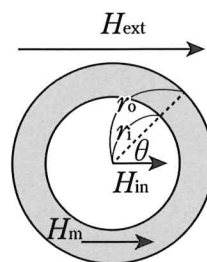


[正解] ⑧ 3)

[解説] 比透磁率の大きな物質は、磁気シールドとして利用されている。一様な磁界中に図 2 のような中空球を置くと磁界は磁性体に捕捉されて 3) に示されるような磁力線を描き、内部に入る磁界は外部の磁界よりも小さくなる。なお、この現象を磁気遮蔽^{しやへい}という。

[備考]

参考までに磁性体内部の中空部分の磁界を具体的に求めると以下ようになる。真空中および磁性体の透磁率をそれぞれ μ_0 , μ , 磁性体中空球の内半径, 外半径をそれぞれ r_i , r_o , 球の外および磁性体内からみたときの球の中心の磁気モーメントの大きさをそれぞれ M_1 , M_2 , 球外の一様な外部磁界, 磁性体内の磁界, 磁性体で囲まれた内部の中空球内の磁界の大きさをそれぞれ H_{ext} , H_m , H_{in} とすると, 球の外表面 ($r=r_o$) における球の半径方向の磁界と接線方向の磁束密度の境界条件より,



$$\text{半径方向の磁界} \quad H_{\text{ext}} \sin \theta - \frac{M_1}{4 \pi \mu_0 r_o^3} \sin \theta = H_m \sin \theta - \frac{M_2}{4 \pi \mu r_o^3} \sin \theta$$

$$\text{接線方向の磁束密度} \quad \mu_0 \left(H_{\text{ext}} \cos \theta + \frac{2 M_1}{4 \pi \mu_0 r_o^3} \cos \theta \right) = \mu \left(H_m \cos \theta + \frac{2 M_2}{4 \pi \mu r_o^3} \cos \theta \right)$$

が成り立つ。同様に内部の中空球表面 ($r=r_i$) における半径方向の磁界と接線方向の磁束密度の境界条件より,

$$\text{半径方向の磁界} \quad H_m \sin \theta - \frac{M_2}{4 \pi \mu r_i^3} \sin \theta = H_{\text{in}} \sin \theta$$

$$\text{接線方向の磁束密度} \quad \mu \left(H_m \cos \theta + \frac{2 M_2}{4 \pi \mu r_i^3} \cos \theta \right) = \mu_0 H_{\text{in}} \cos \theta$$

が成り立つ。4 式から, 連立方程式を解いて H_{in} を求めると,

$$H_{\text{in}} = \frac{H_{\text{ext}}}{1 + \frac{2(\mu - \mu_0)^2}{9 \mu_0 \mu} \left(1 - \frac{r_i^3}{r_o^3} \right)}$$

となる。この式は、比透磁率 $\mu_s = \frac{\mu}{\mu_0}$ を用いて、

$$H_{\text{in}} = \frac{H_{\text{ext}}}{1 + \frac{2(\mu_s - 1)^2}{9\mu_s} \left(1 - \frac{r_i^3}{r_o^3}\right)}$$

と表すことができる。ここで分かりやすくするために $\frac{(\mu_s - 1)^2}{\mu_s} \approx \mu_s$ と近似すると、

$$H_{\text{in}} \approx \frac{H_{\text{ext}}}{1 + \frac{2}{9}\mu_s \left(1 - \frac{r_i^3}{r_o^3}\right)}$$

となり、この式から比透磁率 μ_s が大きいほど内部の磁界 H_{in} が小さくなることがわかる。また、 $\frac{r_i}{r_o}$ が小さい（つまり、磁性体の厚みがある）ほど遮蔽効果は高い。

【問題 10】 図 1 に示す回路の素子 D の静特性が図 2 であった。図 1 に示す回路に図 3 の入力電圧 V_i を加えたときの出力電圧 V_o として最も適切なのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、図 1 の回路の演算増幅器は理想的なものとする。[6]

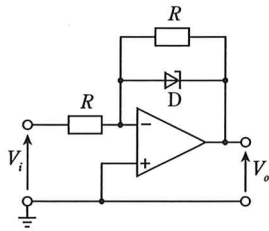


図 1

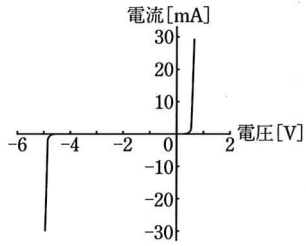


図 2

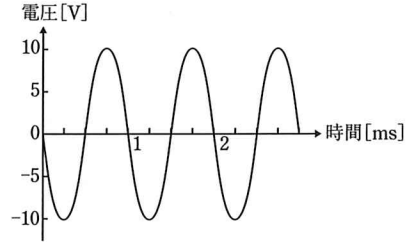
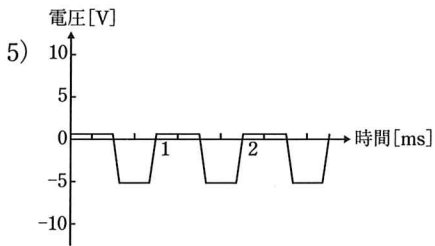
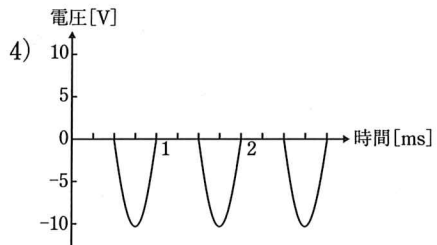
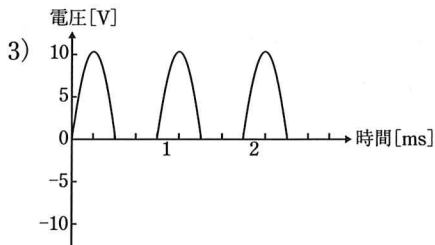
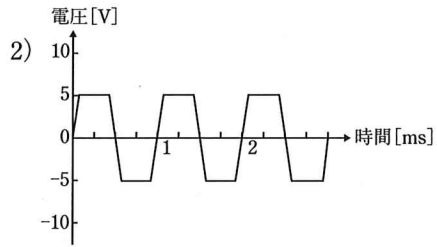
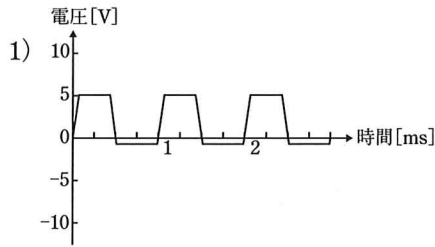


図 3



【正解】 ⑨ 1)

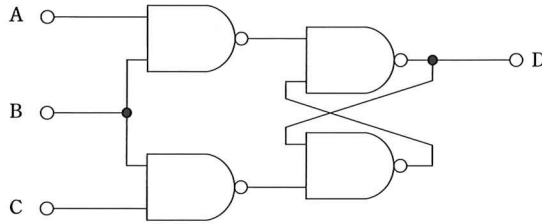
【解説】 オペアンプによるフィードバック型リミッタの動作に関する問題。

素子 D はツェナーダイオードであり、順方向では約 0.6 V、逆方向では約 5 V で導通する。非反転入力端子は接地されているため、反転入力端子の電圧は常に 0 V である。

そのため入力電圧 V_i が負の場合は入力側抵抗 R (以下、入力抵抗 R) には反転入力端子から入力端子に向かって電流が流れる。理想的な演算増幅器では入力電流はゼロであるため、入力抵抗 R を流れる電流は演算増幅器の出力端子から出力側抵抗 R (以下、出力抵抗 R) あるいはツェナーダイオードを流れて入力抵抗 R に流れ込むことになる。演算増幅器の出力端子の電圧はツェナーダイオードに逆方向電圧となっているので、出力電圧が 5 V 付近に達するまでは出力抵抗 R へのみ電流が流れるため、通常の反転増幅器として機能するが、出力電圧が 5 V を超えるとツェナーダイオードが導通して出力電圧が 5 V に保たれる。

一方入力電圧 V_i が正の場合は入力抵抗 R には入力端子から反転入力端子に向かって電流が流れる。理想的な演算増幅器では入力電流はゼロであるため、抵抗 R を流れる電流は演算増幅器の反転入力端子から出力抵抗 R あるいはツェナーダイオードを流れて演算増幅器の出力端子に流れ込むことになる。演算増幅器の出力端子の電圧はツェナーダイオードに順方向電圧となっているので、出力電圧が -0.6 V 付近に達するまでは出力抵抗 R へのみ電流が流れるため、通常の反転増幅器として機能するが、出力電圧が -0.6 V を超えるとツェナーダイオードが導通して出力電圧が -0.6 V に保たれる。

【問題 11】 図の論理回路の入力端子 A, B, C に図のタイミングで入力した。
出力 D として正しいのはどれか。番号を解答欄 ⑩ にマークせよ。[6]



入力

A	1													
	0													
B	1													
	0													
C	1													
	0													

図

出力 D

1)	1													
	0													
2)	1													
	0													
3)	1													
	0													
4)	1													
	0													
5)	1													
	0													

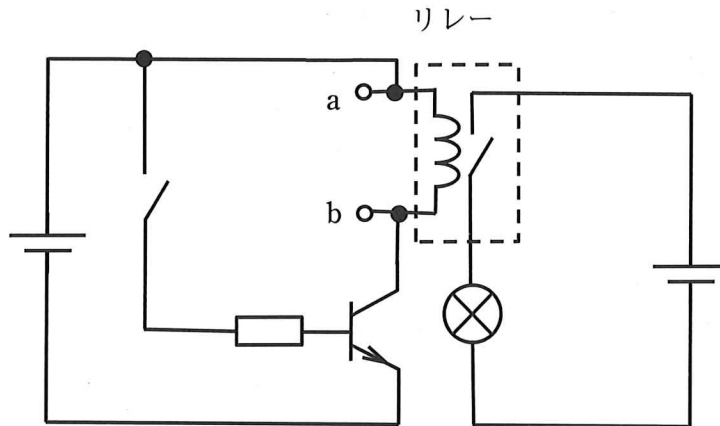
【正解】 ⑩ 3)

【解説】 論理回路の動作とタイミングチャートの理解に関する問題である。

図 1 の回路は同期型 RS フリップフロップ回路である。前段の 2 つの NAND 回路が同期のための回路を、後段の 2 つの NAND 回路が RS フリップフロップ回路

を構成している。入力端子 B からの信号が同期信号となるため、B の論理が 0 のとき、前段の 2 つの NAND 回路の出力信号は常に論理が 1 となる。そのため、後段の RS フリップフロップ回路の状態は維持されていて変化しない。入力端子の論理が 1 のときのみ、前段の 2 つの NAND 回路の入力端子は入力信号 A と C の論理によって値が変化し、後段の RS フリップフロップ回路の出力 D の論理を決定する。

【問題 12】 図は電磁リレー回路をトランジスタで制御する回路の模式図である。この回路では、リレーの入力コイルに流れる電流を OFF にするときが発生する逆起電力によって、トランジスタが破損するおそれがある。その危険を回避するために a b 間に追加する素子として最も有効なのはどれか。番号を解答欄 ⑪ にマークせよ。[6]



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

【正解】 ⑪ 5)

【解説】 誘導性負荷(コイル)を制御する場合、電流 OFF 時に発生する電流を流し続けようとする逆起電力を考慮する必要がある。この電流によって制御トランジスタが破損する恐れがある。これを保護するために、コイルに並列してダイオードを逆方向に接続する。このダイオードによって、還流電流を流すことで、トランジスタの破損を防いでいる。このダイオードの使い方を知らなくても、リ

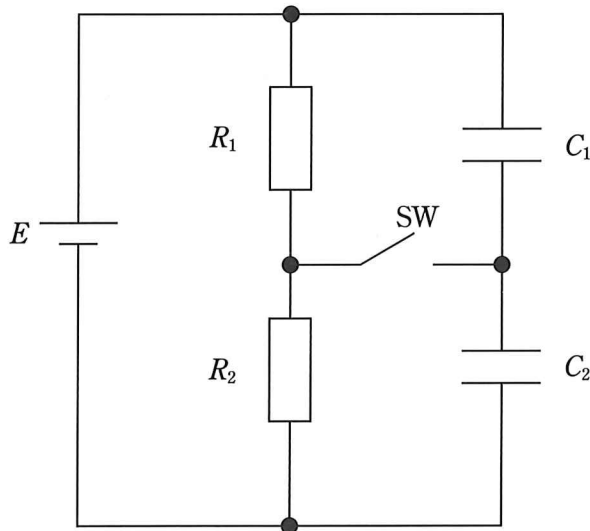
レーの動作を考えれば、リレーのコイルに電流が流れている ON の状態では動作せずに、コイルの電流を OFF にする瞬間だけ動作する素子であることがよいと推測できる。電流の流れる方向を制御することができる素子として、選択肢からはダイオードを選ぶことができる。スイッチを ON にするとトランジスタを介してリレーのコイルでは図中で上から下方向(a→b の方向)に電流が流れてリレーが ON になる。a→b が順方向になる 4) のダイオードを接続した場合、ダイオードに電流が流れてダイオードの順方向電圧で電圧がクリップされるため、リレーを動作するために十分な電圧をコイルに加えることができなくなってしまう。リレー動作時には逆方向で電流を流さないが、トランジスタを OFF にしたときに電流を流し続けることができる逆方向のダイオード 5) を選択することができる。

[出題の意図]

電子回路で用いられる基礎となる電子部品であるダイオードの整流特性の少し変わった使い方として、逆起電力に対する保護回路としての使い方がある。リレーの動作の仕組みとダイオードの整流特性を正しく理解していないと、接続方向を間違えることが少なくない回路でもある。コイルの特性と連動して理解しておくことが望ましい。

【問題 13】 静電容量 $C_2=2C_1$ のコンデンサ C_1 , C_2 を直列に接続した図の回路のスイッチ SW を OFF にした状態でコンデンサを充電した結果、コンデンサ C_1 に 12 C の電荷が蓄えられた。その後、SW を ON にした。十分な時間が経過した後、 C_1 に蓄えられている電荷の大きさは何[C]か。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、 $E=6\text{ V}$, $R_1=R_2=2\text{ k}\Omega$ とする。[6]

- 1) 3
- 2) 6
- 3) 9
- 4) 12
- 5) 15



【正解】 ⑫ 3)

【解説】 スイッチ SW を OFF にした状態の回路として C_1 と C_2 を直列接続した回路を考える。 C_1 と C_2 を直列接続ときの合成容量を C_{all} とすると、 C_1 , C_2 に蓄えられる電荷 Q_1 , Q_2 , および C_{all} に蓄えられる Q_{all} は等しい。したがって、

$$Q_{\text{all}}=Q_1=Q_2=12\text{ C}$$

である。

$$Q_{\text{all}} = C_{\text{all}} \times E$$

であるから、

$$C_{\text{all}} = \frac{Q_{\text{all}}}{E} = \frac{12 \text{ C}}{6 \text{ V}} = 2 \text{ F}$$

である。また、

$$C_{\text{all}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)}$$

で、

$$C_2 = 2 \times C_1$$

であるから、

$$C_{\text{all}} = \left(\frac{2}{3}\right) \times C_1$$

である。したがって、

$$C_1 \times \left(\frac{3}{2}\right) \times C_{\text{all}} = \left(\frac{3}{2}\right) \times 2 \text{ F} = 3 \text{ F}$$

となる。

スイッチ SW を OFF にした状態の R_1 と R_2 の抵抗回路だけ考えれば、 R_1 にかかる電圧 V_1 は、

$$E \times \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) = 6 \text{ V} \times \left(\frac{2\text{k}}{(2\text{k} + 2\text{k})}\right) = 3 \text{ V}$$

である。

この回路の場合、 R_1 と R_2 の大きさが同じであるので、単純に $\frac{1}{2}$ に分圧されて $6 \text{ V} \div 2 = 3 \text{ V}$ として求めることもできる。

スイッチ SW を ON にしても各抵抗にかかる電圧は変化しないため、SW を ON にしたときに R_1 にかかっている電圧 V_1 が C_1 にかかることになる。

したがって、SW を ON の状態で C_1 に蓄えられる電荷は、

$$Q_1 = C_1 \times V_1 = 3 \text{ F} \times 3 \text{ V} = 9 \text{ C}$$

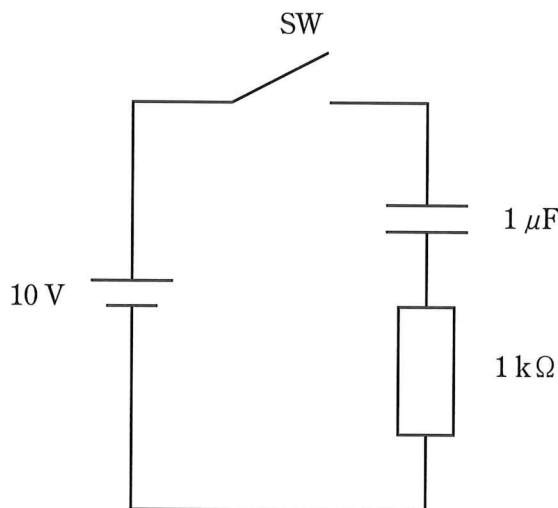
として求めることができる。

[出題の意図]

電気容量の大きな電気二重層コンデンサの利用が増えてきている。コンデンサの使用方法として、直列接続と並列接続における合成容量の変化の違いを理解していることが望ましい。コンデンサの動作原理を知らないと、蓄電されている電荷量の変化を理解できない。コンデンサに関する基本的な計算ができることを求める問題である。

【問題 14】 図のような CR 直列回路がある。SW を閉じた瞬間から 2.0 ms 後に回路を流れる電流 [mA] はおよそいくらか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、初期状態でのコンデンサ両端電圧は 0V とし、自然対数の底 e の逆数を 0.37 とする。[6]

- 1) 0.63
- 2) 0.74
- 3) 1.4
- 4) 2.1
- 5) 3.7



【正解】 ⑬ 3)

【解説】 ある定常状態から別の定常状態に変化する間には、時間的に状態が変化する過渡現象(transient phenomena)が存在する。問題の CR 直列回路では、SW を入れる前の電流が流れていない定常状態から、SW を入れて電流が時間的に変化する過渡現象を経て、キャパシタの充電が終了して電流が流れなくなる次の定常状態へと状態が遷移していく。この時流れる電流は時間 t の関数となり次式で表される。

$$i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{CR}}$$

式からわかるように、 $C \times R$ の値が過渡現象の変化の速さを決める。 $\tau = CR$ を時定数と呼んでいる。この問題では $\tau = 1 \text{ ms}$ となる。

SW を入れた直後 ($t=0$) において流れる電流は 10 mA であり、これが時間の経

過とともに減少し、 $t=\tau=1\text{ ms}$ において最初の 10 mA の 37% まで減少する。

$$i = 10 \times 10^{-3} \times e^{-\frac{1 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}}} = 10 \times 10^{-3} \times e^{-1} \approx 10 \times 10^{-3} \times 0.37 = 3.7\text{ mA}$$

さらに時間が経過し $t=2\tau=2\text{ ms}$ となると、 $t=1\text{ ms}$ の時の値の 37% まで減少する。

$$i = 10 \times 10^{-3} \times e^{-\frac{2 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}}} = 10 \times 10^{-3} \times e^{-2} = 10 \times 10^{-3} \times e^{-1} \times e^{-1}$$

$$\approx 10 \times 10^{-3} \times 0.37 \times 0.37 = 1.369\text{ mA}$$

このように、ある時間の電流値を基準としたならば、そこから τ 秒経過すると、基準にした電流値の $\frac{1}{e}$ となることを知っていれば、方程式を覚えていなくても解ける問題である。

【問題 15】 ノンパラメトリック検定手法でないのはどれか。番号を解答欄 ⑭ にマークせよ。[6]

- 1) 符号検定
- 2) Student の t 検定
- 3) Wilcoxon の順位和検定
- 4) 符号付き順位和検定
- 5) 順位相関

【正解】 ⑭ 2)

【解説】 ノンパラメトリック検定手法は、母集団の分布が正規分布に従っていないとしても使用できる検定である。一方、母集団の分布が正規分布に従う場合は、パラメトリック検定手法を使用する。

	パラメトリック検定	ノンパラメトリック検定
対象とする統計量	平均値 分散 積率相関係数	代表値 散布度 関連性係数, 順位相関係数 度数
尺度水準	間隔尺度, 比例尺度	名義尺度 順序尺度 間隔尺度 比例尺度
母集団の分布	正規分布を仮定 等分散性を仮定	問わない
標本サイズ	少ないと検出力低下	問わない

ノンパラメトリック検定手法、およびパラメトリック検定手法のそれぞれの代表的な検定方法を以下にまとめる。その他、よく用いられるノンパラメトリック検定として、順位相関や一致の度合いを調べたりする方法(スピアマンの順位相関, ケンドールの順位相関係数)がある。

第 22 回午前の部

	パラメトリック検定法	ノンパラメトリック検定法	
	比率・間隔尺度	名義尺度	順序尺度以上
適合度		χ^2 検定	χ^2 検定 1 標本コルモゴロフ・スミルノフ検定
独立性	相関係数の検定	χ^2 検定 フィッシャーの正確確率検定	χ^2 検定 フィッシャーの正確確率検定
比率の差		χ^2 検定 フィッシャーの正確確率検定 マクネマー検定 コ克蘭の Q 検定	χ^2 検定 フィッシャーの正確確率検定 マクネマー検定 コ克蘭の Q 検定
母比率		二項検定	二項検定
対応のない 2 標本の 代表値の差	平均値の差の t 検定 (Student の t 検定)		Wilcoxon の順位和検定 2 標本コルモゴロフ・スミルノフ検定 ファン・デル・ワーデン検定 中央値検定
対応のある 2 標本の 代表値の差	平均値の差の t 検定 (Student の t 検定)		符号付き順位和検定 符号検定
対応のない K 標本の 代表値の差	一元配置分散分析		クラスカル・ウォリス検定 中央値検定
対応のある K 標本の 代表値の差	乱塊法		フリードマン検定

【問題 16】 図 1 は、周期 T の単一周波数時系列信号である。その信号の位相と振幅を図 2 の複素平面上に●点で表すものとする。この複素平面上で、図 3 の周期 T の単一周波数時系列信号はいずれの点で表されるか。番号を解答欄 ⑮ にマークせよ。[6]

- 1) a
- 2) b
- 3) c
- 4) d
- 5) e

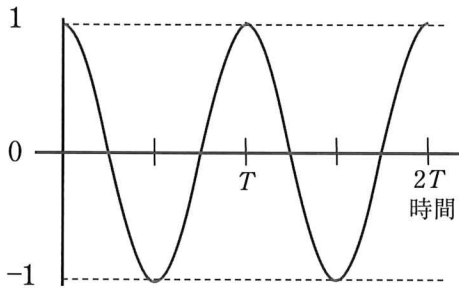


図 1

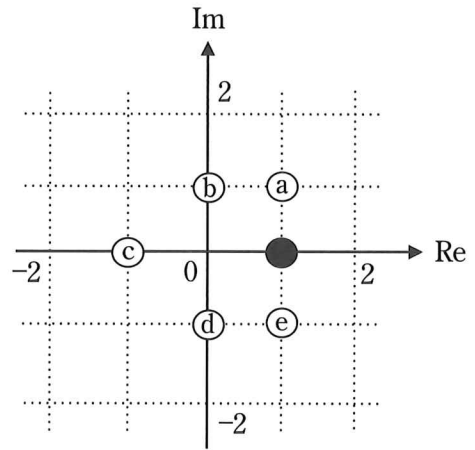


図 2

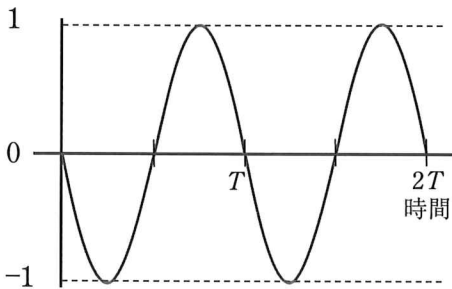


図 3

[正解] ⑮ 2)

[解説] 図 1 は、周期 T の単一周波数時系列信号を示し、図 2 はその信号を振幅および位相によって複素平面で示したものである。

ここで、図 3 の信号は、図 1 の信号と比較すると、振幅は同じであり、位相は、 $\frac{\pi}{2}$ 進んだ信号を表している。(図 3 の信号の方が、時間的に一周期の $\frac{T}{4}$ 秒早く変化しているということを示す)

このため、この信号を図 2 の複素平面で示した場合、原点からの距離(絶対値)が振幅を、実軸からの偏移角が位相を示すことから、図 3 は b の位置で示される。

ここで、

a は振幅 $\sqrt{2}$ 位相が $\frac{T}{8}$ 進んでいる信号

c は振幅 1 位相が $\frac{T}{2}$ 進んでいる信号

d は振幅 1 位相が $\frac{T}{2}$ 遅れている信号

e は振幅 $\sqrt{2}$ 位相が $\frac{T}{8}$ 遅れている信号

を表している。

【問題 17】 オペレーティングシステムとアプリケーションの間で動作するプログラムはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) インタプリタ
- 2) スパイウェア
- 3) ミドルウェア
- 4) ファームウェア
- 5) デバイスドライバ

【正解】 ⑩ 3)

【解説】 コンピュータの動作には、ユーザが直接操作するアプリケーションとシステム全体を管理するオペレーティングシステム(OS)以外に様々なソフトが動作している。

- × 1) インタプリタは、BASIC に代表される逐次実行型のプログラミング言語の総称である。
- × 2) スパイウェアとはコンピュータやユーザに関する情報を許可なく外部に送信するプログラムである。
- 3) ミドルウェアは、オペレーティングシステム(OS)とアプリケーションソフトウェアの間に入るシステムのうち、OS の機能の拡張、あるいはアプリケーションソフトウェアの汎用的(共通的)な機能を集めたものである。
- × 4) ファームウェアとは、ハードウェアに組み込みのシステムの制御用ソフトウェアのように、ハードウェアに特化しており容易に変更できないソフトウェアのことである。
- × 5) デバイスドライバとは周辺機器の通信、制御を行うためのインターフェースを提供するソフトウェアのことである。

【問題 18】 医療に用いる無線 LAN のセキュリティ対策の強化に最も役立つのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 接続機器の MAC アドレスに基づいて認証する。
- 2) 接続機器のファイル共有機能を無効にする。
- 3) 暗号化方式を WEP から WPA2 に変更する。
- 4) 接続機器のローミング機能を有効にする。
- 5) ESSID をステルス化する。

【正解】 ⑰ 3)

【解説】 医療だけでなく、ビジネス社会において無線 LAN を使うケースが増えていることから、セキュリティ対策強化の手法について理解するために問題作成した。

- × 1) MAC アドレスはセキュリティ強化になるが、ネットワーク上で暗号化されないため、無線 LAN のパケットをキャプチャ(採取)すれば外部から丸見えとなり、悪意を持った攻撃者は、ツールを使って MAC アドレスを偽装するだけで、フィルタリングをかいくぐることができる。
- × 2) ファイル共有機能を活かしていると、他人からパソコンやスマートフォンに保存してあるファイルを読み取られたり、不正なファイル(コンピュータウイルスなど)を送り込まれたりすることがある。
- 3) WEP は初期の方式。WPA2 は現在の標準的な暗号化規格であり、WEP よりセキュリティが強化されている。
- × 4) ローミング機能は携帯電話などでの異なる通信プロバイダ間での接続サービスであり、セキュリティに役に立たない。
- × 5) ESSID をステルス化しても、根本的なセキュリティ強化にはならないが、見えなくすることで被害は少なくできる。

【備考】

無線 LAN のセキュリティ対策は、WEP より、WPA、WPA2 の順につよくなるが、一般的に暗号化方式 TKIP や AES と組み合わせてつかわれることが多い。

【問題 19】 電子メールの暗号化に関係ないのはどれか。番号を解答欄 ⑱ にマークせよ。[6]

- 1) IMAPS
- 2) SMTP-AUTH
- 3) SMTPS
- 4) S/MIME
- 5) POP3S

【正解】 ⑱ 2)

【解説】 電子メールは暗号化することなくデータをやり取りする仕組みのため、盗聴やなりすましに弱い。そのため、最近では SSL/TLS を用いて伝送路を暗号化するのが一般的である。また、SMTP サーバはユーザ認証の仕組みがないため、ウイルスやスパムメール送信が容易であった。そのため、現在では SMTP サーバに対するユーザ認証の仕組みが導入されている。

- × 1) IMAPS は、IMAP に SSL/TLS を組み合わせたプロトコルである。IMAP による接続前に伝送路を暗号化するので、ユーザ名とパスワードも暗号化されることから、盗聴によるアカウント乗っ取りなどの危険も低くなる。
- 2) SMTP-AUTH (SMTP-Authentication) とは、SMTP の拡張仕様の一つで、メールの発送時に、メールサーバが正規の利用者からの発信かどうかを確認する方法を規定したもの。ユーザ認証の方式であり、電子メールの暗号化方式ではない。
- × 3) SMTPS とは、SMTP に、伝送路を暗号化する SSL/TLS を組み合わせたプロトコルである。
- × 4) S/MIME とは、電子メールの暗号化やデジタル署名の付加をする方式の一つである。本文を暗号化して添付ファイルとして送信、正規の受信者でなければ復号できないようにしたり、暗号化された署名情報を添付して、送信者が確かに本人であることを確認したりできるようにする。
- × 5) POP3S とは、POP3 に SSL/TLS を組み合わせたプロトコルである。POP3

による接続前に暗号化するので、ユーザ名とパスワードも暗号化されるため、盗聴によるアカウント乗っ取りなどの危険も低くなる。

【問題 20】 ネットワークの脅威に関して誤っているのはどれか。番号を解答欄

⑬にマークせよ。[6]

- 1) ウイルス対策ソフトはゼロデイ攻撃に対応できる。
- 2) 標的型攻撃は特定の組織に対して情報の窃取を試みる。
- 3) DDoS 攻撃はネットワーク上に分散している多数のコンピュータから一斉に攻撃を行う。
- 4) 水飲み場攻撃は特定の Web サイトを改ざんし、アクセスした利用者にマルウェアを感染させる。
- 5) ランサムウェアに感染するとハードディスク内のデータが暗号化され、解除するための身代金を要求される。

【正解】 ⑬ 1)

【解説】

× 1) ウイルス対策ソフトは必要であるが、あらゆる脅威を検出することはできない。

基本的にウイルスであるかどうかは、ウイルス定義ファイルと照合して判断したり、ウイルスの振る舞いを検出したりして判断するが、完璧な防御はできない。特にゼロデイ攻撃と言われるものには対応できない。ゼロデイ攻撃とは、ソフトウェアの脆弱性(セキュリティホール)を標的とした攻撃の内、脆弱性が発見されてから修正プログラムなどの対策が提供されるまでの時間差を利用して行われる攻撃のことである。

○ 2) 標的型攻撃は特定の組織に対して情報の窃取を試みるもので、日本年金機構から 125 万件の年金個人情報流出し、氏名や生年月日、住所などが抜き取られた情報漏えい事件が代表例である。この事件で使われたのは標的型攻撃メールである。日本年金機構の職員に対して「『厚生年金基金制度の見直しについて(試案)』に関する意見」というタイトルのファイルが添付されたメールが届き、少なくとも 2 人の職員が開封した。添付ファイルによって感染したのは「Emdivi」と呼ばれる第三者からの遠隔操作を可能

とするウイルスである。標的型攻撃メールによる日本年金機構の情報流出に関わったウイルスと同系統の遠隔操作ウイルスによるサイバー攻撃は、多くの企業に対して行われており、情報漏えいを起こす危険がある。

- 3) DDoS 攻撃とは、分散型 DoS 攻撃(Denial of Service attack)のことである。

DoS 攻撃は、サーバの負荷や通信量(トラフィック)を増加させ、サーバのサービスを低下させることを目的としたもので、複数のネットワークに分散する大量のコンピュータが一斉に特定のネットワークやコンピュータへ接続要求を送出し、通信容量をあふれさせて機能を停止させてしまう攻撃を指す。

- 4) 水飲み場攻撃は、特定の組織や個人を狙う標的型攻撃の手法の一つで、標的がよく利用すると思われる Web サイトを改ざんし、そこへアクセスした利用者にマルウェアを感染させる手法を指す。ライオンが水飲み場のそばで、水を飲みに来る獲物を待ち伏せし、狙い撃ちにする様子になぞらえている。

- 5) ランサムウェアに感染すると、ハードディスク内のデータが暗号化され、解除するための身代金を要求される。

ランサムウェアの例は、米ロサンゼルスでコンピューターシステムがハッキングの被害に遭い、患者を別の病院に移送させる騒ぎになった。ハッカーは復旧に仮想通貨のビットコイン約 360 万ドル(約 4 億 1 千万円)分を要求した。

【問題 21】 フェイルセーフはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. スマートフォンの電源スイッチは長押ししないと切れない。
- b. 電子レンジ作動中にドアを開くとマイクロ波放射が止まる。
- c. 自動車のシフトレバーがパーキングの位置にないとエンジンが起動しない。
- d. 電気ストーブが転倒すると電源が切れる。
- e. 電子レンジのドアを開けたまま作動させることはできない。

- 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】 ⑳ 6)

【解説】 フェイルセーフは「危険回避」ということで、ある危険につながる事態が発生した場合に、その危険を回避して安全を確保する機構のことである。一方、フルプルーフは「予防安全」ということで、そもそも危険な事態が発生しないような構造を持つことで、安全を確保する機構のことである。

- × a. 簡単にスイッチが切られることを予防する長押し機構はフルプルーフである。
- b. 電子レンジ作動中にドアを開いたときにマイクロ波放射があると危険なので、それを回避するために止まるのはフェイルセーフである。
- × c. 自動車のシフトレバーがパーキングの位置以外の時にエンジンが起動する危険を予防する機構はフルプルーフである。
- d. 電気ストーブが転倒したときに電源が切れないと火災の危険がある。それを回避するために電源が切れるのはフェイルセーフである。
- × e. 電子レンジのドアを開けたまま作動させることを予防するための機構なので、フルプルーフである。

【問題 22】 国内の EMC 規格である JIS T 0601-1-2 において、イミュニティの試験項目でないのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 静電気放電
- 2) 放射 RF 電磁界
- 3) 静磁界
- 4) RF 電磁界によって誘発される伝導妨害
- 5) 電源周波数磁界

【正解】 ② 3)

【解説】 JIS T 0601-1-2 のイミュニティの試験項目ならびに試験レベルは以下のように規定されている。静磁界の試験項目はない。

項 目	試験レベル(一般もしくは非生命維持装置)	試験レベル(生命維持装置)
静電気放電(ESD)	±6 kV(接触) ±8 kV(気中)	同左
電氣的ファストランジェント/ バースト	±2 kV(電源ライン) ±1 kV(入出力ライン)	同左
サージ	±1 kV(ラインーライン) ±2 kV(ラインー接地間)	同左
電圧ディップ・短時間停電及び 電圧変動	(省略)	
電源周波数磁界	3 A/m	同左
伝導 RF	3 Vrms(150 kHz-80 MHz)	3 Vrms(150 kHz-80 MHz, ISM 帯域外) 10 Vrms(150 kHz-80 MHz, ISM 帯域内)
放射 RF	3 V/m(80 MHz-2.5 GHz)	10 V/m(80 MHz-2.5 GHz)

【問題 23】 FTA に関して誤っているのはどれか。番号を解答欄 ㉔ にマークせよ。[6]

- 1) 起こりうる事象について、発生経路、発生原因を解析する。
- 2) 考え方の基本は「それによって何が起きるか」という帰納法である。
- 3) 防止しようとする目標事象を top event とする。
- 4) 事象間の因果関係を表す論理ゲートは AND と OR の 2 種類が基本となる。
- 5) 新製品開発時の致命的欠陥への対策解明にも使われる。

【正解】 ㉔ 2)

【解説】 FTA(fault tree analysis)の手法の考え方の基本は「それによって何が起きるか」という帰納法ではなく、「それが起こるためには何が必要か、原因は何か」という演繹(えんえき)法にある。したがって用途としては事故の原因究明、新製品開発時の致命的欠陥への対策解明などの品質保証があげられる。FTAは防ごうとする事柄(目的事象)を一つ決め、それが現在のシステムで生じるための直接的条件となる事象を拾い出し、事象との関係を論理和、論理積で結び、各事象について同様の分析を行う FT 図を作成する。これによりシステムの潜在事故原因や故障の原因をはっきりさせることができる。また、事故の確率的な可能性の分析やチェックリストの作成に役立つ。

- 1) FTA は起こりうる事象についての発生経路と発生原因を解析することである。
- × 2) 考え方の基本は「それによって何が起きるか」ではなく、「原因は何か」という演繹法である。
- 3) FTA の手法で、防止しようとする目標事象を top event という。
- 4) 事象間の因果関係を表す論理ゲートは AND と OR が基本となる。
- 5) 新製品開発時の致命的欠陥への対策解明や品質保証対策などのにも使われる。

【問題 24】 安全使用のための人間工学的ユーザビリティにおいて重要でないのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 新規性(目新しさ)
- 2) 操作性(取扱いのしやすさ)
- 3) 認知性(分かりやすさ)
- 4) 快適性(心地よさ)
- 5) 一貫性(統一されていて矛盾がない)

【正解】 ㉓ 1)

【解説】 人間工学的な機器設計などにおいて扱われるユーザビリティは一般に使いやすさ、使い勝手という意味で定義は曖昧な概念として使われることが多い。設計思想として、「使いやすさ」、「使い勝手の良さ」、「操作性(取り扱いのしやすさ)」、「認知性(分かりやすさ)」、「快適性(心地よさ)」、「一貫性(統一されていて矛盾がない)」の観点は必要であるが、新規性(目新しさ)があるかないかは含まれない。

- × 1) 目新しさは使いやすさや使い勝手の良し悪しとは関係しない。
- 2) 製品を使用する際に正確な操作のためには重要である。
- 3) 製品を特定の利用状況での操作においても分かりやすさは重要である。
- 4) 製品をストレスなく効率的に使用する際の不快感のなさが重要である。
- 5) 製品装置がソフトウェア、ハードウェアなどが統一されていて矛盾がないことが重要である。

【備考】

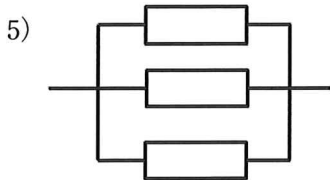
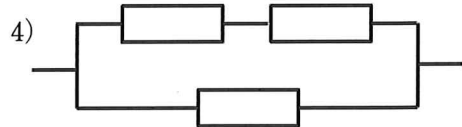
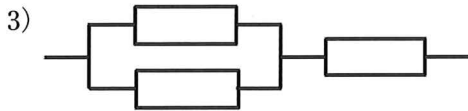
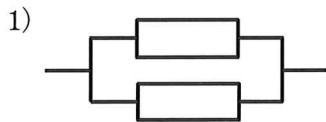
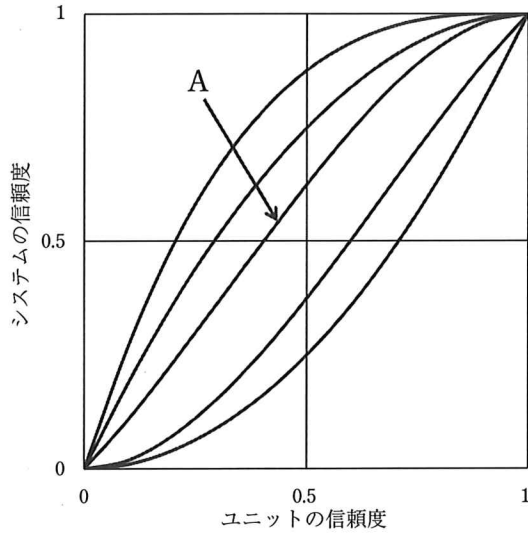
ISO 9241-11 によるユーザビリティ (Usability) の定義(評価項目, 評価目的)の内容は以下の 4 項目が上げられている。【問題 24】とは題意(問題の意図)が異なることに注意してほしい。

- 有効さ (Effectiveness) : ユーザーが指定された目標を達成する上での正確さ, 完全性, 特定の利用状況において, 特定のユーザーによってある製品が指定さ

れた目標を達成するために用いられる有効性

- 効率(Efficiency)：ユーザーが目標を達成する際に、正確さと完全性に費やした資源
- 満足度(Satisfaction)：製品を使用する際の、不快感のなさ、および肯定的な態度
- 利用状況(Context of use)：ユーザー、仕事、装置(ハードウェア、ソフトウェア、および資材)、ならびに製品が使用される物理的および社会的環境

【問題 25】 信頼度が同じユニットで構成されている 1) から 5) のシステムに関して、横軸にユニットの信頼度、縦軸にシステムの信頼度を下の図に示した。A の特性を示すシステムはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]



【正解】 ㉔ 4)

【解説】 システムの信頼度を比較する問題である。1)から5)のそれぞれのシステムの信頼度をすべて計算し比較しても答えは導けるが、5)>1)>2)であること、4)>2)及び1)>3)であることが直感的にすぐわかれば、3)と4)の比較のみで良い。

4)のシステムの信頼度は

$$R_4 = 1 - (1 - R)(1 - R^2) = R + R^2 - R^2$$

3)のシステムの信頼度は

$$R_3 = \{1 - (1 - R)^2\}R = 2R^2 - R^2$$

$0 < R < 1$ であるから

$$R_4 - R_3 = R(1 - R) > 0$$

となり、4)>3)となる。

【問題 26】 故障の原因の整理あるいは品質改善のために出された多くの意見を一枚の図に整理して表す，フィッシュボーンともよばれる図はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) パレート図
- 2) ヒストグラム
- 3) 特性要因図
- 4) チェックシート
- 5) 管理図

【正解】 3)

【解説】 品質管理の七つ道具とよばれる手法に関する設問である。

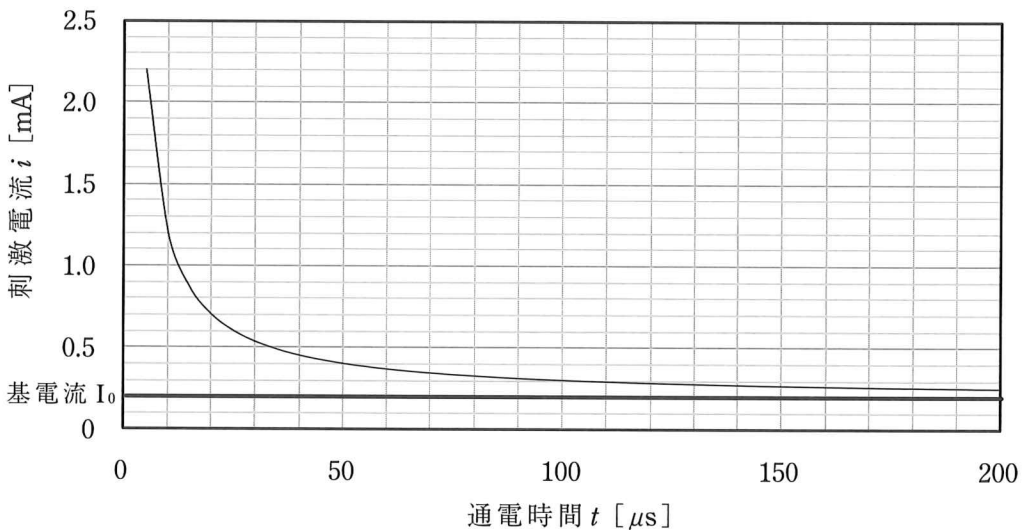
- × 1) 項目を横軸とし，度数の多い項目から順に，度数を縦軸にとり，累積相対頻度曲線を併記した図。不良・欠点などを原因別，状態別などで層別した結果を示すのに用いる。多くの要因の中から重要なものを浮き彫りにするのに役立つ。
- × 2) 度数分布を表す図。横軸に階級，縦軸に出現度数をとり，出現度数に比例した大きさの柱(長方形)で示す図。データのバラつきを見るのに役立つ。
- 3) 品質の特性と要因の関係を系統的に線で結んで樹状に表現した図。原因と結果の関係を整理するのに役立つ。
- × 4) 点検や確認，現状の確認などを目的に作成された調査表。データの分類項目別分布など，大量のデータを整理する場合に役立つ。
- × 5) 工程が統計的管理状態にあるかどうかを判断するため，あるいは工程を安定な状態に保持するために用いる図。管理限界を示す 1 対の線を引き，品質または工程の条件を示す特性値が管理限界線の内側にあるかどうかを示す。

【問題 27】 パルス幅(通電時間) t のパルス電流 i による電気刺激を行ったところ、感知閾値が Weiss の式

$$i = I_0 + \frac{b}{t}$$

で表され、図のような特性を示した。この部位を刺激して興奮を引き起こす刺激エネルギーを最小にできるパルス幅 $t[\mu\text{s}]$ はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、 b は定数とする。[6]

- 1) 25
- 2) 50
- 3) 100
- 4) 150
- 5) 200



【正解】 ② 2)

【解説】 電気刺激における電流負荷において、通電エネルギーは電力[W]×時間[s]で与えられる。負荷抵抗を R とし、電力を R と電流 i で表すと、

$$\text{電力} = i^2 R$$

となるので、パルス幅(通電時間) t のパルス電流電気刺激における通電エネルギー E は1パルスの電圧×電流×時間として

$$E = i^2 R t$$

で計算できる。

設問にあるように、電気刺激において刺激可能な電流の感知閾値が Weiss の式

$$i = I_0 + \frac{b}{t}$$

で表されている。ただし、 I_0 は基電流、 b は正の定数である。

この関係を用いてエネルギーを i と t の関係式に直すと、

$$E = i^2 R t = \left(I_0 + \frac{b}{t} \right)^2 \cdot R \cdot t$$

となる。この式を t で微分すると、

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &= R \left\{ I_0^2 - \left(\frac{b}{t} \right)^2 \right\} \\ &= R \left(I_0 - \frac{b}{t} \right) \left(I_0 + \frac{b}{t} \right) \end{aligned}$$

となるので、 I_0 、 b 、 $t > 0$ の条件下で

$$I_0 = \frac{b}{t}, \text{ すなわち } t = \frac{b}{I_0} \text{ のときに}$$

$$\frac{dE}{dt} = 0$$

となる。

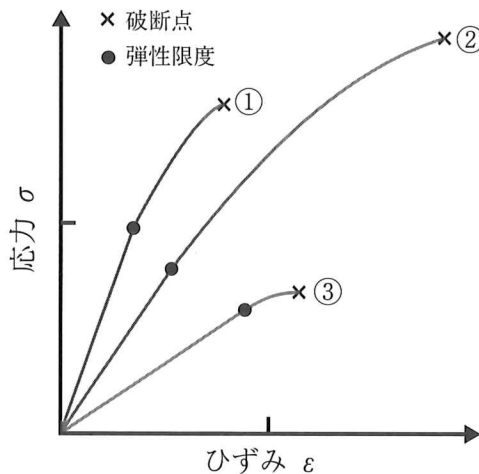
E は t に対して下に凸の関数なので、 $t = \frac{b}{I_0}$ のときにエネルギーは最小となる。このようにして求めた t はクロナキシーとよばれる。この t における感知電流値 i は $i = I_0 + \frac{b}{t}$ に $t = \frac{b}{I_0}$ を代入して $i = 2 I_0$ となる。

設問では、グラフより基電流は 0.2 mA と読み取れるので、電流値が 0.4 mA となるときのパルス幅を読み取って、50 μ s が得られる。

【問題 28】 医用材料から試験片を作製し，引張試験を実施した。その結果，3 つの異なる材料に対して，図に示すような応力—ひずみ曲線が得られた。各曲線上にある×は破断点，●は弾性限度を示している。材料①～③の特性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. 延性が最も高いものは②である。
- b. 靱性が最も高いものは③である。
- c. 脆性が最も高いものは①である。
- d. 弾性係数が最も高いものは③である。
- e. 引張強度が最も高いものは②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

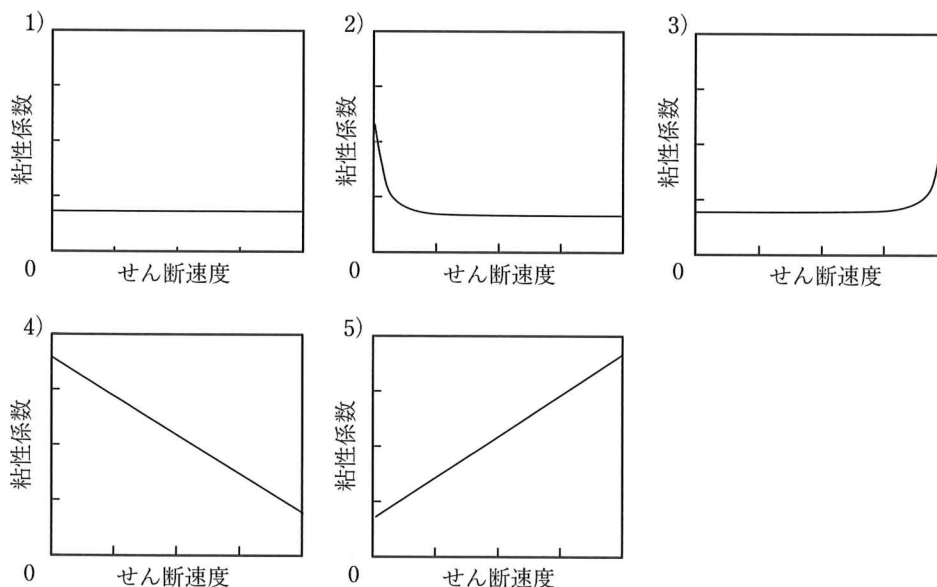


【正解】 ② 4)

【解説】 材料の力学的特性を示す応力—ひずみ線図から，変形や破断にいたる挙動および破断時の性質について評価することができる。力を作用することで材料に生じた変形が，力を取り除いた際に完全にもとに戻る上限値の応力やひずみを示す点を弾性限度(●)という。

- a. 塑性変形(弾性限度(●)から破断点(×)までの変形)が大きいほど延性が高い。よって、最も延性が高いものは材料②。
- × b. 靱性は破断点(×)までの曲線と X 軸で囲まれた面積で表される。よって、最も靱性が高いものは材料②。
- × c. 塑性変形が小さいほど脆性が高い。よって、最も脆性が高いものは材料③。
- × d. 弾性係数は原点と弾性限度(●)を結ぶ直線の傾きとほぼ等しい。よって、最も弾性係数が高いものは材料①。
- e. 引張強度は破断時の応力である。よって、最も引張強度が高いものは材料②である。

【問題 29】 液体の粘性係数 - せん断速度の関係を示した概念図の中で、血液の粘性特性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、概念図の尺度は同一とする。[6]



【正解】 2)

【解説】 血液の粘性特性を理解しているかどうかを問う問題である。

血液はせん断速度に依存して粘性係数(粘度)が変化する非ニュートン流体である。数ある非ニュートン流体の中でもケソン流体に分類される。ケソン流体はせん断速度が低いときには粘性係数が高く、せん断速度が高くなると粘性係数が低くなる流体である。血液の赤血球はせん断速度が低いと凝集する性質があるために、低せん断速度では血液全体の粘性係数が高くなり、流れにくくなる。血液中に存在する鎖状のタンパク質によっても非ニュートン性が生じるが、血液が非ニュートン性を示す主な原因は上記の赤血球の凝集である。

問題に示した図はそれぞれ以下の流体の粘性特性を示している。

- 1) ニュートン流体(水, 油等)
- 2) ケソン流体(血液等)

- 3) 存在しない
- 4) 擬塑性流体(マヨネーズ, ケチャップ等)
- 5) ダイラタント流体(片栗粉水溶液等)

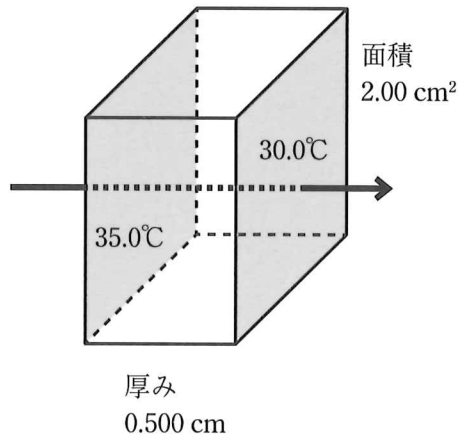
[備考]

上記の他にも, 降伏値を超える力を加えるとニュートン流体のように流れ出すビンガム流体があり, ケソン流体と同様にせん断速度が低い(ほぼゼロの)ときだけ粘性係数が高い。

【問題 30】 図のように断面積が 2.00 cm^2 、厚みが 0.500 cm の平板状の生体組織がある。組織の両面の温度をそれぞれ 35.0°C 、 30.0°C とするとこの生体組織を 1 分間に通過する熱量 $[\text{J}]$ はどれか。番号を解答欄 ㉔ にマークせよ。

ただし、この生体組織の熱伝導率を $5.00 \times 10^{-3} [\text{J}/(\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})]$ とし、熱は厚み方向(太い矢印)にのみ流れるものとする。[6]

- 1) 0.100
- 2) 0.375
- 3) 1.50
- 4) 6.00
- 5) 12.0



【正解】 ㉔ 4)

【解説】 熱伝導とは、物質中を熱が高温側から低温側へと伝わることである。高温側から低温側へ流れる熱量(伝熱量) Q は、温度差($T_2 - T_1$) と断面積 A に比例し、厚み L に反比例し、その比例定数が熱伝導率 k である。時間 t に流れる熱量は

$$Q = -kA \frac{T_2 - T_1}{L} t$$

と表されるため、

$$Q = -5.00 \times 10^{-3} \times 2.00 \times (30.0 - 35.0) \div 0.500 \times 60 = 6.00 \text{ J}$$

一般的には温度が高くなる方向を正とするのに対し、熱は高い方から低い方へと移動するため、負号をつける。

【問題 31】 超音波の生体への作用について正しいのはどれか。番号を解答欄

③〇 にマークせよ。[6]

- 1) キャビテーションの発生は周波数に依存する。
- 2) 生体内の伝搬は距離に対し直線的減衰特性を示す。
- 3) 体温上昇は固有音響インピーダンスを低下させる。
- 4) 超音波による発熱は骨より脂肪の方が大きい。
- 5) 動脈硬化の石灰化部位は血管壁の音速を低下させる。

【正解】 ③〇 1)

【解説】 生体内における機械的・音響的振動は、波動伝搬の特性で表すことができる。音波や超音波の伝搬は、縦波の伝搬を考えればよい。

- 1) キャビテーションとは、強力超音波によって媒質内に空洞(真空の空間)ができることで、空洞化現象とも呼ばれる。体内での陰圧方向の圧力を P_r (引き裂き音圧: rarefactional pressure), 超音波の周波数を f , プローブの構造から決まる定数を M_1 とおくと, キャビテーションの起こりやすさの指標は,

$$P_r = \frac{M_1}{\sqrt{f}}$$

と表すことができる。これより, キャビテーションは, 音圧が同じなら, 周波数が低いほど発生しやすい, つまり周波数に依存することがわかる。

- × 2) 生体組織内に照射された超音波は, 距離に対して指数関数的に減衰する。平面波の場合, 生体内の伝達特性は超音波音圧を P , 初期入力音圧を P_0 , 距離を x , 吸収係数を α [dB/cm] とおくと,

$$P = P_0 \cdot e^{-\alpha x}$$

と表すことができる。

- × 3) 組織の密度を ρ , 生体内の伝搬速度を c とおくと, 固有音響インピーダンスを z は,

$$z = \rho \cdot c$$

と表すことができる。温度が上昇すると伝搬速度が速くなるので、固有音響インピーダンスは増加する。

- × 4) 超音波による発熱は、超音波の吸収の大きさ(吸収係数)で決まってくる。骨(頭蓋骨)の吸収係数は 13 dB/cm, 脂肪は 0.63 dB/cm(ともに $f=1$ MHz)なので、骨の方が大きい。
- × 5) 動脈硬化の石灰化部位は正常な血管壁より硬くなっているため、弾性率は増加する。

【問題 32】 肺胞におけるガス輸送について誤っているのはどれか。番号を解答欄 ③1 にマークせよ。[6]

- a. 肺胞気から血液への酸素の移動は拡散による。
- b. 血液から肺胞気への二酸化炭素の移動は能動輸送による。
- c. 血液が肺胞の毛細血管を通過するとヘモグロビンが酸素で飽和される。
- d. 安静時に比べて運動時はヘモグロビン酸素飽和度が低い。
- e. 二酸化炭素は酸素より血液から肺胞気への移動速度が大きい。

- 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】 ③1 6)

【解説】 肺におけるガス輸送に関する問題である。

- a. 酸素濃度差を駆動力として拡散により酸素は移動する。毛細血管通過中に酸素濃度差は低下し、動脈血液において $P_{A}O_2 - P_aO_2 = 0$ となり平衡状態に達する。肺胞気から血液への酸素の移動は、肺胞上皮、間質、毛細血管内皮そして血漿および赤血球膜を透過して、赤血球内のヘモグロビンと反応する。
- × b. 二酸化炭素の移動は拡散による。能動輸送は、例えば細胞膜 Na^+/K^+ ポンプのように、エネルギー消費を伴う輸送様式である。
- c. 血液が 1 回毛細血管を通過する間に、酸素が血液中に移動し、平衡状態となり酸素飽和度は 100% となる。
- × d. 安静時に比べ運動時は毛細血管通過時間が短い、ヘモグロビンは酸素で十分に飽和する。
- e. 肺胞気から血液中ヘモグロビン分子までのガスの拡散のしやすさを拡散能 (DL; diffusing capacity (of the lung)) といい、二酸化炭素は酸素より 20 倍ほど拡散しやすいと言われている。

従って、b, d の 6) が誤っている組合せである。

【問題 33】 透析器に使用されている材料はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. ポリジメチルシロキサン
- b. ポリプロピレン
- c. ポリテトラフルオロエチレン
- d. ポリエチレンテレフタレート
- e. ポリウレタン

- 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 7)

【解説】 透析器を校正する透析膜，ジャケットおよびポッティング剤(膜とジャケットの接着剤)に使用されている医用材料に関する問題である。

- × a. ポリジメチルシロキサン：シリコーン樹脂やゴムは透析器には使用されていない。
 - b. ポリプロピレン：ジャケットに使用されている。
 - × c. ポリテトラフルオロエチレン：疎水性でタンパク質が吸着しがたく，針，カテーテル，人工血管などに使用されている。
 - × d. ポリエチレンテレフタレート：合成繊維や医療用人工血管などに使用されている。
 - e. ポリウレタン：ポッティング剤に使用されている。
- 従って，b, e の 7) が使用されている組合せである。

【問題 34】 血液透析膜に用いられている高分子材料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. ポリビニルピロリドンを含む材料がある。
- b. ペットボトルと同じ材料がある。
- c. 最も使用量が多い材料は水酸基を有する。
- d. セルロースの水酸基をメチル化した材料が使われている。
- e. ポリメチルメタクリレートは β_2 -MG を吸着する。

- 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 4)

【解説】

- a. 血液透析膜に使用されているポリスルホン膜は疎水性であるため、親水化材としてポリビニルピロリドン(PVP)が用いられている。また PVP により細孔径を制御した膜が作成しやすくなるため、PVP が混合されている。
- × b. ペットボトルの材料であるポリエチレンテレフタレートは透析膜には用いられない。
- × c. 最も使用量の多いポリスルホン膜は、スルホン基を有している。
- × d. セルロースの水酸基をアセチル化したセルローストリアセテート膜は使用されているが、メチル化した材料は使われていない。
- e. ポリメチルメタクリレート(PMMA)透析膜では、吸着により低分子料タンパク質である β_2 ミクログロブリンなどを除去することができる。

【問題 35】 医療機器の生物学的評価の JIS T 0993-1 において、体内と体外とを連結する医療機器のうち、循環血液と接触する時間が 24 時間未満のものには不要とされている生物学的安全性試験はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 細胞毒性試験
- 2) 感作性試験
- 3) 急性全身毒性試験
- 4) 遺伝毒性試験
- 5) 発熱性試験

【正解】 ③ 4)

【解説】 循環血液と接触する医療用具に必要な生物学的試験には、細胞毒性、感作性、刺激性、急性全身毒性、発熱性、血液適合性試験が必要である。1 日以上長期に使用する用具については、さらに亜急性毒性や遺伝毒性についての試験も必要である。

【問題 36】 生体材料が接触して生じるアナフィラキシーショックにおいて、臓器・組織の機能に障害が生じる直接的な原因はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) アルカローシス
- 2) 血圧上昇
- 3) 補体の活性化
- 4) 血漿成分漏出増加
- 5) 慢性炎症

【正解】 ㊸ 4)

【解説】 アナフィラキシーショックのメカニズムを理解しているかどうかを問う問題である。

末梢組織への血流量が減少することにより酸素を必要とするエネルギー産生が十分に行えず、その結果、臓器・組織の機能に障害が生じている状態をショックと言う。生体材料が原因となるショックとして、アナフィラキシーショック(急性アレルギーショック)が知られている。アナフィラキシーショックが発生すると、血管が拡張し血漿成分がもれ出ることにより血圧低下や臓器・組織の機能障害を引き起こす。それに加えて、他のショックと異なり、気道の平滑筋が収縮したり気道のむくみを起こしたり、分泌物が増加することによる閉塞、血管運動性のむくみなどの I 型アレルギーの症状が現れる。このように、臓器・組織の機能に障害が生じる直接的な原因は、血漿成分の漏出増加であり、血漿成分の漏出増加によって発生するむくみはアレルギー症状の原因にもなっている。

激しいアナフィラキシーショックの場合にはじん麻疹、呼吸困難、下痢、低血圧等が起こり、生命の危険を伴うが、その直接的な原因も血漿成分の漏出増加である。

【問題37】 生理食塩液の滅菌に使用できるのはどれか。番号を解答欄③⑥にマークせよ。[6]

- a. 高圧蒸気滅菌法
- b. 乾熱滅菌法
- c. 酸化エチレン(EO)ガス滅菌法
- d. 過酸化水素ガス低温滅菌法
- e. 濾過滅菌法

- 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】 ③⑥ 4)

【解説】 滅菌について理解しているどうかを問う問題である。

液体の滅菌にはガスを使用する滅菌法を使用できない。もし誤って使用してしまった場合には、滅菌の作用を発揮するガスが液体中に溶け込んでしまい、滅菌の効果を減少させてしまうだけでなく、その液体を生体組織に接触させたときに、生体組織中の細胞を死滅させてしまう可能性がある。そのため、問題選択肢中のc. 酸化エチレン(EO)ガス滅菌法とd. 過酸化水素ガス低温滅菌法を使用してはならない。

また、液体中の成分の濃度が変化しないように、滅菌する際に水分が蒸発しない方法で滅菌しなければならない。問題選択肢中のb. 乾熱滅菌法では水分が蒸発してしまうため、液体の滅菌には使用できない。

問題選択肢中の残ったa. 高圧蒸気滅菌法とe. 濾過滅菌法が液体の滅菌に使用できる方法である。

【備考】

液体中に熱によって変性してしまうタンパクや糖質が含まれている場合には、高圧蒸気滅菌法を使用することができず、濾過滅菌法で滅菌しなければならない。グルコース等を含む細胞培養液はそれに該当し、濾過滅菌法で滅菌する。

【問題 38】 超高分子量ポリエチレンを使った人工股関節において起こりにくいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 過大荷重に起因する破損
- b. 磨耗に起因するゆるみ
- c. 磨耗粉に起因する骨溶解
- d. 摩擦熱に起因する人工骨頭への溶着
- e. 溶出物に起因する金属カップの腐食

- 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 10)

【解説】 人工股関節を装着した患者では、装着後のトラブルを抱えることが多い。物理的な要因以外にも、マクロファージが関与した生体由来の骨溶解が問題となっており、埋込み型医療機器に関する正しい理解が必要である。

- a. 長期間の使用によって亀裂をきたし、破損、再置換術の対象となる。
- b. 超高分子量ポリエチレンが磨耗してゆるみを生じるとともに、c. に記載の磨耗粉を発生する。2011 年からは京セラが MPC ポリマーをコーティング、磨耗を大幅に減少させた Aquala ライナーを商品化しているので磨耗の問題はいずれ解消する。
- c. マクロファージが磨耗粉を異物として取り込むが、その際破骨細胞を刺激するため骨溶解をきたす。
- × d. 摩擦熱が発生するほど急激な動きはしない。
- × e. 超高分子量ポリエチレンによる金属腐食はない。

【問題 1】 「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律(医薬品医療機器法)」に照らして誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[5]

- 1) 製造販売業者は副作用と疑われる事項を知ったとき、厚生労働大臣に報告しなければならない。
- 2) 治験は厚生労働大臣への初回届出後 15 日経過してからでなければ実施できない。
- 3) 副作用又は機能の障害が生じた場合に、人の生命及び健康に影響を与えるおそれがあるものは管理医療機器に分類される。
- 4) 添付文書は最新の論文により得られた知見に基づき記載されていなければならない。
- 5) 製造販売業者は承認を受けた医療機器の使用によって保健衛生上の危害が発生することを知ったとき、これを防止するための措置を講じなければならない。

【正解】 ① 2)

【解説】

- 1) 医薬品医療機器法第六十八条の十第一項では「医療機器の製造販売業者又は外国特例承認取得者は、その製造販売をし、又は承認を受けた医療機器について、当該品目の副作用その他の事由によるものと疑われる疾病、障害又は死亡の発生、当該品目の使用によるものと疑われる感染症の発生その他の医療機器の有効性及び安全性に関する事項で厚生労働省令で定めるものを知ったときは、その旨を厚生労働省令で定めるところにより厚生労働大臣に報告しなければならない。」(抄)とされている。
- × 2) 医薬品医療機器法第八十条の二第三項では「前項本文の規定による届出をした者は、当該届出をした日から起算して 30 日を経過した後でなければ、治験を依頼し、又は自ら治験を実施してはならない。」(抄)とされている。
- 3) 医薬品医療機器法第二条第五項では『「高度管理医療機器」とは、医療機

器であって、副作用又は機能の障害が生じた場合において人の生命及び健康に重大な影響を与えるおそれがあることからその適切な管理が必要なものとして、厚生労働大臣が薬事・食品衛生審議会の意見を聴いて指定するものをいう。』(抄)とされている。医薬品医療機器等法第二条第六項では『「管理医療機器」とは、高度管理医療機器以外の医療機器であって、副作用又は機能の障害が生じた場合において人の生命及び健康に影響を与えるおそれがあることからその適切な管理が必要なものとして、厚生労働大臣が薬事・食品衛生審議会の意見を聴いて指定するものをいう。』(抄)とされている。

- 4) 医薬品医療機器等法第六十三条の二第一項では「医療機器は、これに添付する文書又はその容器若しくは被包に、当該医療機器に関する最新の論文その他により得られた知見に基づき、次に掲げる事項が記載されていなければならない。」(抄)とされている。
- 5) 医薬品医療機器法第六十八の九では「医療機器の製造販売業者又は外国特例承認取得者は、その製造販売をし、又は承認を受けた医療機器の使用によって保健衛生上の危害が発生し、又は拡大するおそれがあることを知ったときは、これを防止するために廃棄、回収、販売の停止、情報提供その他必要な措置を講じなければならない。」(抄)とされている。

【問題 2】 JIS T 0601-1:2014 で単一故障状態(SFC)でないのはどれか。番号を
解答欄 にマークせよ。[5]

- 1) 基礎絶縁の破壊
- 2) 部品の意図しない移動
- 3) F 形装着部の患者接続部へ外部電圧を印加した場合
- 4) 保護接地線の断線
- 5) 電源導線のいずれか 1 本の断線

【正解】 ② 3)

【解説】 単一故障(SFC)とは、以下に示すような状態をさす。

- ・絶縁のいずれかひとつの短絡
- ・沿面距離または空間距離のいずれかひとつの短絡
- ・絶縁、空間距離または沿面距離と並列に接続している高信頼性部品以外の部品の短絡および開路
- ・保護設地線の開路
- ・電源導線のいずれか 1 本の断線
- ・部品の意図しない移動
- ・危険状態に結びつく導線およびコネクタの偶然の外れによる破損

※1999 年版では、単一故障状態とされていた「F 型装着部の患者接続部へ外部電圧を印加した場合」は、2014 年版では「特別な試験条件」としたので単一故障状態には分類されない。

※1999 年版では、単一故障状態とされていた「信号出力部(SIP/SOP)にほかの電気機器からの電圧または電流が存在する状態」は、2014 年版では「正常状態」となった。

【問題 3】 医療機器の保守点検・修理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。[5]

- 1) 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。
- 2) 医療機器に関する JIS の主務大臣は厚生労働大臣と経済産業大臣である。
- 3) 医療機器の故障部品の交換は保守点検に含まれない。
- 4) 医療機器の保守点検の業務委託は医療法施行令で定められている。
- 5) 臨床工学技士の医療機器の保守点検業務は名称独占にあたる。

[正解] ③ 1)

[解説]

× 1) 医療機器の修理業務は、医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律(以下、医薬品医療機器法)、及び医薬品医療機器法施行令によって規定されている。

医薬品医療機器法

第 40 条の 2 医療機器の修理業の許可を受けた者でなければ、業として、医療機器の修理をしてはならない。

医薬品医療機器法施行令

第 54 条 法第 40 条の 2 第 3 項の政令で定める期間は、5 とする。

- 2) 医療機器に関する JIS(日本工業規格)は、主に「JIS T XXXX」の番号で規定されており、日本工業標準調査会の審議を経て、厚生労働大臣と経済産業大臣の許認可を得て発行されている。
- 3) 故障部品の交換、オーバーホールなどは「修理」にあたり、保守点検には含まれない。
- 4) 医療機器の保守点検の業務委託は、医療法施行令(第 4 条の 7 第 5 項)、及び医療法第 15 条の 2 で定められている。
- 5) 臨床工学技士法第 2 条の 2 において「前略～臨床工学技士の名称を用いて、医師の指示の下に、生命維持管理装置の操作(中略)及び保守点検を行うことを業とする者をいう。」と定められており、保守点検は名称独占業務となる。

【問題 4】 「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律(医薬品医療機器法)」に照らして誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[5]

- 1) 医療機器には動物に使用するものも含む。
- 2) クラスⅡの医療機器は管理医療機器である。
- 3) 診断や治療に用いるソフトウェア(単体プログラム)は医療機器に当たらない。
- 4) 医療機器を製造販売する場合に厚生労働大臣の許可が必要である。
- 5) 治験は厚生労働大臣の承認を得る場合に提出する臨床試験の資料の収集を目的とするものである。

【正解】 ④ 3)

【解説】

- 1) 医薬品医療機器法第二条第四項では『この法律で「医療機器」とは、人若しくは動物の疾病の診断、治療若しくは予防に使用されること、又は人若しくは動物の身体の構造若しくは機能に影響を及ぼすことが目的とされている機械器具等(再生医療等製品を除く。)であって、政令で定めるものをいう。』とされている。
- 2) 平成 16 年 7 月 20 日付薬食発第 0720022 号厚生労働省医薬食品局長通知「薬事法第二条第五項から第七項までの規定により厚生労働大臣が指定する高度管理医療機器、管理医療機器及び一般医療機器(告示)及び薬事法第二条第八項の規定により厚生労働大臣が指定する特定保守管理医療機器(告示)の施行について」の中に、次のように記載されている。『高度管理医療機器に関しては、医療機器規制国際整合化会議(GHTF)において議論されているクラス分類ルールを基本にクラス分類ルールを定め、その分類ルールに基づき各一般的名称ごとにクラス分類を行った結果「クラスⅣ」及び「クラスⅢ」とされた医療機器を指定したものであること。また、管理医療機器については「クラスⅡ」と、一般医療機器については「クラス

I」と分類された医療機器を指定したものであること。』。

- × 3) 医薬品医療機器法第二条第十三項では『この法律で「製造販売」とは、その製造(他に委託して製造をする場合を含み、他から委託を受けて製造をする場合を除く。)をし、医療機器を販売し、貸与し、若しくは授与し、又は医療機器プログラムを電気通信回線を通じて提供することをいう。』(抄)とされている。
- 4) 医薬品医療機器法第二十三条の二の五第一項では『医療機器(略)の製造販売をしようとする者は、品目ごとにその製造販売についての厚生労働大臣の承認を受けなければならない。』とされている。
- 5) 医薬品医療機器法第二条第十七項では『この法律で「治験」とは、第十四条第三項、第二十三条の二の五第三項又は第二十三条の二十五第三項の規定により提出すべき資料のうち臨床試験の試験成績に関する資料の収集を目的とする試験の実施をいう。』(抄)とされている。

【問題 5】 等電位接地方式，非接地配線方式，非常電源のすべてを備えていなければならない医用室はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[5]

- 1) 人工透析室
- 2) 心臓カテーテル室
- 3) 分娩室
- 4) 温熱治療(ハイパーサーミア)室
- 5) 放射線治療室

【正解】 ⑤ 2)

【解説】 JIS T 1022:2006「病院電気設備の安全基準」における等電位接地方式と非接地配線方式の目的の違いを問う問題である。

等電位接地方式は，漏れ電流によるマイクロショックを防止するためのもので，当該医用室の患者が触れうるすべての金属体間に電位差がないようにすることである。

非接地配線方式は，重要な機器を多数使用している医用室で，1 台の機器の絶縁破壊によってもブレーカが飛ばず，一斉に機器が停止することはなくなる。すなわち，非常電源と同じく，電源の供給信頼性の向上を目的としている。一方で，絶縁の悪い機器が接続されたときにそれを報知する絶縁監視装置の設置が必須となる。

- × 1) 体内にカテーテルを挿入するなどするが，通常は心臓に達することはないので「等電位接地方式」は必須ではない。同時に多数の患者が透析治療を受けることが一般的で，機器の停止が生命に危険を及ぼす可能性があるので「非接地配線方式」は必須である。
- 2) 電気生理学的検査，不整脈治療のためのアブレーションなど，心臓に直接，電極を挿入する機会も多い。また，複数の重要な機器が稼動しており，機器の停止が生命の危機に直結するので，「等電位接地方式」「非接地配線方式」ともに必須である。
- × 3) 通常は体内に機器を挿入することは少なく，また，心臓に達することはない。

い。通常であれば、機器が停止しても直ちに生命が危険な状態とはならない。よって、両方式とも必須ではない。

× 4) 3)に同じ。

× 5) 3)に同じ。

【問題 6】 JIS T 0601-1:2014 では、一人の患者に複数の装着部が同時に装着された場合を想定して、それらの装着部から流れる合計患者漏れ電流の許容値が規定された。この合計患者漏れ電流は、装着部の形(B 形, BF 形, CF 形)ごとに測定する必要がある理由について、解答欄 に 120 文字以内で記入せよ。
[7]

【正解】 ア 接地されている B 形装着部と、フローティングされている BF 形 (CF 形)装着部とを一緒に接続して測定すると、それら全て接地されてしまう可能性があるため、B 形装着部だけの合計患者漏れ電流を測定する必要がある。(99 文字)

【解説】 JIS T 0601-1:2014 では、従来(JIS T 0601-1:1999)の患者漏れ電流に加えて、新たに合計患者漏れ電流という概念が導入された。これは、近年医療機器が使用される形態を鑑み、例えば生体情報モニタなど複数の装着部が一人の患者に使用されることが多くなり、同一の形式のすべての装着部の患者接続部をお互いに接続した合計の許容値を求める必要が出てきたためである。このような状況を考慮し、合計患者漏れ電流を単一の装着部(B 形, BF 形, CF 形)に対して、正常状態で 5 倍、単一故障状態で 2 倍を限度として規定した。

【問題7】 JIS T 1022 の医用接地方式について正しいのはどれか。番号を解答欄

⑥ にマークせよ。[5]

- 1) 主目的は交流障害防止である。
- 2) クラスⅡのME機器を対象にしたものである。
- 3) 等電位接地の電位差の規定値は10 mV以下である。
- 4) 等電位接地を施した接地極の抵抗値の上限は100 Ωである。
- 5) アイソレーションモニタは接地線の断線を検出する。

【正解】 ⑥ 4)

【解説】

- ・医用接地方式は、医用室での電撃防止を目的とした接地設備の施工方法を取り決めたものである。
- ・医用接地方式の保護接地は、保護接地線によって電撃(マクロショック)に対処するクラスⅠ機器を対象としている。

また、患者環境内を0.1 Ω以内の導線で接地センタに結ぶ、マイクロショック対策を目的とした等電位接地もある。

- ・電撃は電流によって発生するので、等電位接地では電位差の規定はない。
- ・接地極の接地抵抗は10 Ω以下と規定されているが、全ての医用室に等電位接地を施した場合は、接地抵抗が100 Ω以下でも良いとされている。
- ・アイソレーションモニタは、非接地配線方式の電源導線と接地との間のインピーダンスを監視するもので、接地線の断線は検出できない。

×1) 交流障害防止 → 電撃防止。

×2) クラスⅡ → クラスⅠ。

×3) 電位差の規定値は10 mV以下 → 電位差の規定はない。

○4)

×5) 接地線の断線を検出する → 接地線の断線は検出できない。

【問題 8】 非接地配線方式について正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[5]

- a. ミクロショック対策を目的としている。
- b. 正常な医療機器でも数多く使用すると警報が出ることがある。
- c. コンセントの電圧出力端子とアース端子との間の電位差は 100 V である。
- d. 対地絶縁抵抗が 50 k Ω 以下になると警報が出る。
- e. 許容消費電流値を超えると警報が出る。

- 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】 ⑦ 6)

【解説】 非接地配線方式は通常の片側接地配線方式の接地側を非接地(フローティング)にして、電源コンセントに絶縁不良の機器が接続されても、大きな地絡電流が流れないので、停電を防ぐことができる。尚、絶縁不良が発生したことを知らせるのが絶縁監視装置で、非接地配線方式には必ず設けなくてはならない。

× a. 地絡電流による停電対策を主な目的にしている。使用する絶縁トランスの漏れ電流は 0.1 mA 以下に規定されているので、マクロショック対策にはなるが、ミクロショック対策にはならない。

○ b. 正常な医療機器でも数多く使用することにより、接地漏れ電流の合計が 2 mA を超えると警報が出る。

× c. コンセントの電圧出力端子は非接地になっているので、アース端子との間の電位差は 100 V になることはない。通常は 50 V 程度である。

○ d. 絶縁監視装置の表示値が 2 mA 以上つまり対地絶縁抵抗が 50 k Ω 以下になると警報が出る。

× e. 許容消費電流値を超えると電流監視装置の警報は出るが、絶縁監視装置の警報は出ない。

【問題 9】 2014 年 8 月に総務省から出された「医療機関における携帯電話等の使用に関する指針」について正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[5]

- a. この指針では医療機器との離隔距離は 15 cm 程度である。
- b. 離隔距離は JIS T 0601-1-2 の推奨分離距離が根拠になっている。
- c. 病院利用者と医療スタッフの使用ルールは共通である。
- d. 屋内基地局を設けて電波環境を改善しても手術室や ICU では使用できない。
- e. 電波管理を行う EMC 管理者として臨床 ME 専門認定士が推奨されている。

- 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】 ⑧ 7)

【解説】 2014 年 8 月に「医療機関における携帯電話等の使用に関する指針」が総務省・電波環境協議会(EMCC)から出され、1997 年に出された今までの指針は廃止された。そのことにより、医療機関における携帯電話等の積極的な使用が進み、医療 ICT の導入が推進されることになったが、当初から危惧されていた医用電気機器への影響に関する対策は必要である。

- × a. この指針では医療機器との離隔距離は 1 m 程度となっている。15 cm 程度の離隔距離は植込み型医療機器に対する指針で推奨されていることである。
- b. JIS T 0601-1-2 における医用電気機器のイミュニティレベルから得られる推奨分離距離 r の計算式は $r=2.3\sqrt{P}$ であるが、この式に第 3 世代携帯電話の最大出力 $P=0.25$ W を代入すると、 $r=1.15$ m となる。さらに、携帯電話端末実機における -2 dB 程度の減衰を考慮すると、この距離は $r=0.92$ m になる。このことが離隔距離 1 m の根拠となっている。
- × c. 指針では、病院利用者(患者、家族、見舞客等)に対しては、何らかの使用制限が設けられているが、医療スタッフに関しては、電波に関する十分な

教育がなされていることを前提に使用制限は設けられていない。

- × d. 屋内基地局を設けて携帯電話の電波環境を改善すれば、従来の PHS のように手術室や ICU でも使用できる。
- e. 指針では、電波管理を行う EMC 管理者として、EMC を含む医療機器の総合的な管理を行うことができる資質を認定した臨床 ME 専門認定士が推奨されている。

【問題 10】 JIS T 7101 「医療ガス配管設備」の規定で正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[5]

- a. 遮断弁は日常「閉」の状態にしておく。
- b. 緊急臨床警報は赤色の点滅で表示される。
- c. 麻酔ガス排除用配管端末器には NIST コネクタが用いられる。
- d. 酸素の最大流量の下限は配管端末器で 40 L/min である。
- e. 治療用空気の供給圧力は配管端末器で 0.4 MPa 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】 ⑨ 7)

【解説】 医療ガスの安定供給は常に維持されなければならない。医療ガスの品質の保持、医療ガスの誤使用防止、供給失調の防止などを目的として、JIS T 7101 「医療ガス配管設備」で医療ガス設備の構造、設計、検査について規定している。

- × a. 遮断弁(シャットオフバルブ)とは、医療ガスの供給設備から配管端末器までの配管の途中に設けられる手動で開閉する弁(バルブ)のことで、主遮断弁、送気操作用遮断弁、区域別遮断弁がある。この遮断弁は、緊急時、保守点検または修理時などで送気配管の区画を分離(ガス供給を停止)する場合に「閉」にする。日常は「開」の状態でなければならない。
- b. 医療ガス設備に関する警報には、運転警報(可視信号で黄色の点滅表示)、緊急運転警報(可視可聴信号で赤色の点滅表示)、緊急臨床警報(可視可聴信号で赤色の点滅表示)がある。運転警報や緊急運転警報は設備関係者(部署)で発生するが、緊急臨床警報は設備関係者(部署)と医療従事者(臨床現場)の緊急対応が必要な場合に発生する。
- × c. 医療ガス配管端末器には異ガスとの誤接続を防止するためにガス別特定コネクタが用いられる。麻酔ガス排除用配管端末器にはカプラ方式(AGSS: anesthetic gas scavenging system)が用いられる。

× d. 医療ガスの配管端末器での標準供給圧や最大流量の下限が規定されており（表 1）、酸素の下限は 60 L/min である。

表 1 医療ガス配管設備の送気圧と最大流量 (JIS T 7101-2014 より)
単位 kPa(吸引は -kPa) (NL/min は 1 気圧 0℃ でのガス量)

	酸 素	亜酸化窒素	治療用空気	吸 引	二酸化炭素	手術機器駆動用窒素	手術機器駆動用空気	非治療用空気	余剰麻酔ガス排除
標準送気圧力	400±40	400±40	400±40	40～70	400±40	900±135	900±135	300±30	—
配管端末器最大流量 (NL/min)	≥60	≥40	≥60	≥40	≥40	≥350	≥350	—	≥30

○ e. 表 1 のように手術機器駆動用の窒素と圧縮空気以外の医療ガスの標準送気圧力はすべて 400±40 kPa で、酸素は静止圧状態において治療用空気、亜酸化窒素または二酸化炭素よりも 30 kPa 程度高くして、ガス系に異常のある医療機器を介しての酸素配管への異種ガスの逆流混入による低酸素の危険性を防止している。

【問題 11】 パルスオキシメトリ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. プロブの受光部には 2 つの LED が用いられる。
- b. 2 波長の発光を同時に行っている。
- c. 酸素飽和度は(赤色光脈波振幅/赤外光脈波振幅)で計算される。
- d. 940 nm 付近の吸光係数はオキシヘモグロビンよりメトヘモグロビンが大きい。
- e. 酸素飽和度が高いと赤色光の脈波振幅が大きくなる。

- 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】 ⑩ 8)

【解説】 パルスオキシメトリの原理は、心拍動に伴う動脈血液量の変動を光(赤色光と赤外光)の吸収を検出し、連続的・無侵襲的に動脈血酸素飽和度を測定している。

測定には、センサ部位から近赤外光(940 nm)と赤色光(660 nm)の光を発し、指先等での各々波長におけるオキシヘモグロビンとデオキシヘモグロビンの吸光度(入射光強度と透過光強度の割合)の違いを利用している。動脈血中のオキシヘモグロビンは赤外光の吸収が大きく、デオキシヘモグロビンは赤色光での吸収が大きい。

- × a. プロブの受光部には、2 波長の LED(940 nm と 660 nm)の光を受光可能な PD(フォトダイオード)が用いられている。
- × b. 上述のように 2 波長の LED からの光を 1 つの PD で受光するため、発光は数十 kHz の周期で交互に行っている。
- c. オキシヘモグロビンとデオキシヘモグロビンの吸光係数の大小は 800 nm 前後で逆転するので、酸素飽和度は(赤色光脈波振幅(R)/赤外光脈波振幅(IR))を基に計算される。

- d. メトヘモグロビンの吸光係数は、約 700 nm 付近から大きくなり、940 nm ではオキシヘモグロビンとデオキシヘモグロビンの吸光係数より大きい。
- × e. 酸素飽和度が高い、つまりオキシヘモグロビンの吸光スペクトルを考えると、赤色光 660 nm 付近ではデオキシヘモグロビンの吸光係数より小さい、つまり赤色光の脈波振幅は小さい。

【問題 12】 ジェット式ネブライザの特徴はどれか。番号を解答欄 ⑪ にマークせよ。[6]

- a. 薬剤粒子を肺胞から気管まで幅広く沈着できる。
- b. 薬剤によっては成分が分解するおそれがある。
- c. 本体を傾けても吸入できる。
- d. 超音波式と比べて作動音が大きい。
- e. 超音波式と比べて霧化量が多い。

- 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】 ⑪ 3)

【解説】 ネブライザとは吸入量法に用いる薬液を投与に適したエアゾルを発生させる装置である。臨床に使用されている方式には、ジェット式、超音波式、メッシュ式がある。ネブライザが発生するエアロゾルは、そのサイズが細かいほど肺の奥まで到達できる。また、使用する薬剤とネブライザの適合性については、薬品製造メーカーの取扱説明書を参照する必要がある。

ジェット式ネブライザは、ベルヌーイの定理を利用してエアゾルを発生させる。エアゾルのサイズは $1\sim 5\ \mu\text{m}$ とばらつくが、気管支から肺胞まで粒子を沈着させられる(→選択肢 a)。薬剤の噴出にポンプによる圧縮空気を用いるため、装置が大きくなり、動作音が大きくなる(→選択肢 d)。

超音波式ネブライザは超音波振動子の振動エネルギーで薬液に分子運動を起こし、 $1\ \mu\text{m}$ 前後の非常に小さな粒子のエアゾルを発生させる。本体は比較的小型軽量で容易に持ち運べ、動作音も小さい。薬剤により超音波で成分が分解し(→選択肢 b)、薬効が減少する可能性があるとされる。気道内に、水分過剰になる危険性もある(→選択肢 e)。

メッシュ式ネブライザはホーン振動子により平均 $5\ \mu\text{m}$ のエアゾルを発生させる。装置を傾けても使用でき(→選択肢 c)、寝たきり患者や小児など座位の取れない患者にも薬液投与できる。

【問題 13】 在宅酸素療法関連機器の取扱いで正しいのはどれか。番号を解答欄

⑫ にマークせよ。[6]

- 1) 設置型液体酸素容器の定期的な交換は不要である。
- 2) 吸着型酸素濃縮器の吸着剤は日常点検時に毎回交換する。
- 3) 酸素濃縮器の周囲 2 m 未満は火気厳禁である。
- 4) 呼吸同調式酸素供給装置には加湿した酸素を供給する。
- 5) 携帯型液化酸素装置は航空機に持ち込むことができる。

【正解】 ⑫ 3)

【解説】 在宅酸素療法(Home Oxygen Therapy : HOT)は、慢性呼吸不全患者の生命予後の改善などを目的としている。HOTでの酸素の供給装置または器具には酸素濃縮器、携帯酸素発生器、液体酸素容器、酸素ポンプなどがある。また、酸素は強い支燃性をもつガスであることから、酸素投与時の火気の使用に伴う重篤な事故事例が繰り返し発生しており、装置の使用時の注意が必要である。

- × 1) 設置型液体酸素容器(親容器)への液体酸素の充填や消費などが長年繰り返されることや、容器や付属品本体に傷がついたり、容器の内外面に腐食が生じ時に容器の強度低下も考えられる。そのため保守を含めて容器の定期的な交換は必要である。
- × 2) 吸着型酸素濃縮器では酸素ではなく窒素を吸着することで、90% までの高濃度酸素を得ることができる。酸素の濃縮をする生産工程と吸着剤(ゼオライト)の機能を再生する工程を交互に繰り返す仕組みになっているため、日常点検で毎日交換する必要はない。交換はメーカーでのオーバーホール時に行われる。
- 3) 平成 22 年 1 月 15 日(平成 28 年 12 月 21 日更新)に厚生労働省(医政総発 0115 第 1 号・医政指発 0115 第 1 号・薬食安発 0115 第 1 号)から「在宅酸素療法における火気の手扱いについて」で 2 m 以上離すことが注意喚起として通知されている。液化酸素を設置型液体酸素容器(親容器)から携帯型装置(子容器)に移充填する場合は 5 m 以上離さなければならない。

- × 4) 呼吸同期式酸素供給装置(デマンドバルブ)は患者の吸気時に同期して所望の期間だけ酸素を供給する装置で、酸素の節約を目的としたものである。この装置はボンベと鼻カニューラ(もしくは患者までの酸素供給チューブ)との間に設置するもので、加湿したガスを装置に供給した場合には装置内の回路の腐食や機能の停止を来す恐れがある。通常、加湿は不要である。
- × 5) 酸素ボンベは航空手荷物では「危険物」となり、医療を目的として用いる場合のみ航空輸送が認められている。航空機内で酸素療法を行う場合、国内線や国際線のいずれも在宅酸素療法用機器の使用は可能であるが、持ち込める酸素ボンベのサイズや重量に制限が設けられている。航空機内へ持ち込むことができる酸素はガス状のもののみで、液状のものは持ち込みや預けることもできないことになっている。つまり、携帯用液化酸素供給装置は国内外とも航空機内への持ち込みはできない。

【問題 14】 カプノメータについて誤っているのはどれか。番号を解答欄 13 にマークせよ。[6]

- a. 赤外線吸光法を用いている。
- b. 2 波長の光を用いて測定する。
- c. 亜酸化窒素使用時には補正が必要である。
- d. 呼気開始と同時にカプノグラムが上昇する。
- e. 麻酔器のソーダライムの劣化も把握できる。

- 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】 ⑬ 6)

【解説】 カプノメータは呼気ガス中の二酸化炭素濃度(分圧)を測定する装置の総称である。測定原理は、二酸化炭素が特定の波長(4.3 μm 付近の赤外線)エネルギーを吸収し、吸収される赤外線量が二酸化炭素濃度(分圧)に比例することを利用している。換気状態、気道の閉塞状態、肺循環状態、二酸化炭素産生量などの生体情報が得られるため、人工呼吸管理中のモニタとして不可欠である。

- a. 二酸化炭素が波長 4.3 μm の赤外光を強く吸収するという性質を利用して二酸化炭素濃度(分圧)を測定している。
- × b. カプノメータは 4.3 μm の赤外光のみが用いられている。2 波長の光を使用しているのはパルスオキシメータである。
- c. 亜酸化窒素の赤外線吸収スペクトルが 3.9 μm であり、二酸化炭素の赤外線吸収スペクトルの 4.3 μm に近い。そのため亜酸化窒素を使用する場合は二酸化炭素と同時に測定されることになるため、補正が必要である。
- × d. 呼気の始めはセンサ部に死腔部分のガス(吸入したガス)が呼出されるため二酸化炭素濃度はゼロであり呼気開始と同時にカプノグラム(波形)は上昇しない。その後急激に呼気中の二酸化炭素濃度が増加し、さらに呼気が進むと緩やかに上昇する。

- e. 麻酔器は再呼吸式の構造になっている。そのため患者から排出される二酸化炭素は呼吸回路のカニスタ内に充填されている二酸化炭素吸収剤(ソーダライム)で吸収される。この二酸化炭素吸収剤の効果が低下すると、患者に送気されるガス中に二酸化炭素が含まれるためにカプノグラムの基線が上昇する。このため二酸化炭素吸収剤の劣化を把握することができる。

【問題 15】 AED 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. 心室頻拍は AED 使用対象となる不整脈である。
- b. リチウムバッテリーが使用されている。
- c. 通電電極は心電図の検出電極として使用できない。
- d. モノフェージック波形が使用されている。
- e. 心電図解析中も心臓マッサージは続けなければならない。

- 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】 ⑭ 1)

【解説】 AED は自動体外除細動器といい、使い捨て電極を患者の胸部に貼ると、自動的に心電図を解析し、電気ショックを与えて心臓の機能を正常に戻す機能を持つ装置である。

AED は一般の人でも使用できるように音声ガイダンスによって使用できるようになっているが、通電は自動ではなく救助者が放電ボタンを押すことで行う。

対象疾患は無脈性心室頻拍と心室細動であり、R 波同期が必要な心房細動では使用することはできない。

電極パッドやバッテリーは使用期限があるため、定期的な点検と交換が必要になる。バッテリーはリチウムバッテリーが使用され、再充電はできない。バッテリー寿命は概ね 5 年である。

現在すべての AED は 20 mSEC の間の前半と後半で電流の向きを変えるバイフェジック波形が使用されている。バイフェジック波形は手動式除細動器に用いられているモノフェジック波形に比べると低いエネルギーで除細動でき、制動コイルが必要ないため機器を小型化できる。

- a. 無脈性心室頻拍は AED 使用対象となる不整脈である。
- b. リチウムバッテリーが使用されている。再充電はできない。

- × c. 通電電極は心電図の検出電極を兼ねている。
- × d. モノフェージック波形は、手動式除細動器に使用されているが、近年ではバイフェージック波形を有する機種が主流となっている。
- × e. 心電図解析中は、マッサージを一時的にやめなくてはならない。

【問題 16】 ある病棟で心電図テレメータの受信不良が見られた。原因として考えられないのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 隣接病院で使用されている送信機との混信
- b. 受信用アンテナにブースタを使用
- c. 受信機付属ホイップアンテナの使用
- d. 天井裏での工事作業実施
- e. 受信用アンテナに漏洩ケーブルを使用

- 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 7)

【解説】 病棟で心電図テレメータを使用する場合は受信用のアンテナシステムを付設するのが一般的であるが、このシステムに何らかの不備があると受信不良の原因となる。また、使用するチャンネルが重なった場合も混信による受信不良が起こり得る。

- × a. 隣接病院で使用されている送信機の電波が届くことが報告されており、そのチャンネルが重なった場合は混信による受信不良の可能性がある。
- b. 受信用アンテナにブースタ(増幅器)を使用することは一般的に行われていることで受信状態を改善する。
- × c. 受信機付属のホイップアンテナでは、ナースステーションから離れた病室からの電波を確実に受信することは難しく、受信不良に繋がる。
- × d. 天井裏での工事作業実施により、受信アンテナ用のケーブルが断線して受信不良になることもあり得るので、工事後の点検は重要である。
- e. 受信用アンテナシステムに漏洩ケーブルを使用することは一般的である。そのほか、多数のホイップアンテナを各所に配置するシステムも使用される。

【問題 17】 大動脈内バルーンポンピング(IABP)におけるバルーンラプチャー(破れ)に関連して正しいのはどれか。番号を解答欄⑩にマークせよ。[6]

- a. ラプチャーすると必ず本体のガスリーク・アラームが発生する。
- b. バルーン膜にできる微小な傷が主な原因である。
- c. バルーンカテーテル内への血液浸入を認めたら、カテーテルを抜去しなくてはならない。
- d. ヘリウムガスの微量リークは生体に対する悪影響はない。
- e. アシスト比が1:1より1:2の方がガスリーク量は多くなる。

- 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】 ⑩ 5)

【解説】 大動脈内バルーンポンピング(IABP)では、カテーテルを大腿部から挿入するのが一般的であるが、挿入部の大腿動脈や腸骨動脈が動脈硬化により石灰化していると、挿入時やポンピング時のストレスにより、バルーン膜に小さい穴が開くことがある。これをバルーンラプチャー(破れ)と言い、早期に対処しないとヘリウムガスが血管内に漏れ出してガス塞栓の可能性がある。

- × a. ラプチャーしてもピンホール状の穴の場合、本体のガスリーク・アラームが発生しないことが多い。
- b. カテーテル挿入時のストレスでバルーン膜に微小な傷ができ、これがバルーンラプチャーの主な原因となる。
- c. バルーンカテーテル内への血液浸入を認めたら、バルーンラプチャーが発生している証拠なので、すぐにカテーテルを抜去しなくてはならない。
- × d. ヘリウムガスは水に溶けにくいので、微量リークでも長時間続くと生体に対して悪影響を及ぼす可能性がある。
- × e. アシスト比が1:2の時の方が1:1の時よりバルーンが拡張している時間が短くなるのでガスリーク量は少なくなる。

【問題 18】 PCPS の回路内で循環中に内圧が最も低くなるのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 脱血回路
- 2) 血液ポンプの出口側
- 3) 人工肺の入口側
- 4) 人工肺の出口側
- 5) 送血回路

【正解】 ⑰ 1)

【解説】 PCPS のカニューレは経皮的に挿入するため径が細い。低い静脈圧の静脈から細い脱血カニューレで十分な脱血流量を得ることができないため、遠心ポンプが吸引する形で脱血を行っている。よって PCPS の脱血回路の内圧は大気圧より低くなることもある。一方、遠心ポンプは体外循環と生体の血液循環のエネルギー源であり、遠心ポンプの二次側(出口側)以降は生体の動脈圧より高い内圧でなければ、送血できない。

- 1) 上記解説の通り。
- × 2) 血液ポンプの出口側：この部分の圧力が最も高い。
- × 3) 人工肺の入口側：血液ポンプの出口側とほぼ同等の内圧となる。
- × 4) 人工肺の出口側：人工肺の入口圧より人工肺の圧力損失の分だけ内圧は下がる。
- × 5) 送血回路：通常人工肺は患者より低い位置にあるので、落差の分だけ人工肺の出口より送血回路と送血カニューレの接続部の内圧は低くなる。しかし、送血が行われているということは患者血圧より高い。

【問題 19】 透析液の濃度管理に用いる浸透圧計の測定法はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 電極法
- 2) 凝固点降下法
- 3) 炎光光度法
- 4) 吸光光度法
- 5) 近赤外分光法

【正解】 ⑱ 2)

【解説】 血液透析に使用する透析液は処方箋医薬品である。医薬品としての基準をクリアした A 剤・B 剤を現場で使用直前に希釈混合することで初めて透析液として使用できる。このように透析現場で使用直前に混合するため、使用前に透析液の精確な濃度確認(濃度管理)が重要となる。この濃度確認の際には血液ガス分析装置や浸透圧計を用いて透析液の浸透圧を測定している。浸透圧計の測定原理は水溶液の凝固点(氷点=凍り始める温度)が水溶液のモル濃度に比例して低下することを利用している。製品例として、日機装社製の浸透圧分析装置(OSA-33)やアークレイマーケティング社製の自動浸透圧分析装置オズモステーション(OM-6060)などがある。

- × 1) 特定のイオンに選択的に感応する電極(イオン選択電極)と、参照電極を用いて測定する方法である。主に電解質測定装置や血液ガス分析装置などに用いられる。
- 2) 氷点降下法ともいう。1 mOsm/kg の水溶液は純粋の氷点を 1.858℃ 下げ
るため、 $\text{mOsm/kg} = (\text{氷点温度} / -1.858) \times 1000$ で求めることができる。
- × 3) 原子を熱エネルギーによって励起、発光させ、その波長の発光量を測定し、
それぞれの濃度に換算する方法である。Na, K などの測定に用いられて
いたが上述の電極法が一般的となり現在はほとんど使用されていない。
- × 4) 物質に光を照射すると、ある特定の波長の光が物質に吸収される。このと
き吸収される光の波長が物質によって異なることを資料した方法である。

パルスオキシメータやカプノメータなどに用いられる。

- × 5) 近赤外線分光法(NIRS: near-infrared spectroscopy)は近赤外線により、酸素化ヘモグロビン, 脱酸素化ヘモグロビンの変化量を測定する方法である。脳機能計測(光トポグラフィや fNIRS など)に用いられる。

【問題 20】 透析装置のエンドトキシン捕捉フィルタ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. 膜リークを連続モニタリングしている。
- b. 不具合の有無によらず定期交換する。
- c. 装置の消毒工程ではフィルタをバイパスする。
- d. フィルタ下流の配管内にエンドトキシンは存在しない。
- e. フィルタの膜は気体を透過させにくい。

- 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】 ① 7)

【解説】 エンドトキシン捕捉フィルタ (ETRF) に関する基本的な問である。

- × a. 膜リークについては、漏血のように連続的なモニタリングは不可能である。
したがって仮に治療中リークが発生しても検出できない。
- b. 不具合が無くても、使用期間や運転時間などで定期的に交換する。2011 年版日本透析医学会 ETRF 管理基準によると、ETRF 使用期間は、流入する透析液が日本透析医学会の透析液水質基準における標準透析液を担保できない場合には、製造業者の推奨する使用期間を遵守する。一方、標準透析液以上の水質が維持されている場合は、透析機器安全管理委員会が定めるとされている。
- × c. 装置の消毒ではフィルタも消毒される必要がある。フィルタは消毒液の流れる流路に設置されている。消毒条件によっては膜の性能変化を起こすことがある。
- × d. 膜の透過後は理論的にエンドトキシンや菌類は無いはずだが、配管は汚染される可能性があり、必ずしも存在の否定はできない。
- e. エンドトキシン捕捉フィルタの膜は、気体を透過させにくい。

【問題 21】 透析治療中に血液ポンプより異音が発生した。装置の劣化や不良はなかった。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]

- 1) TMP(transmembrane pressure)の増加
- 2) 漏 血
- 3) 脱血不良
- 4) 抗凝固薬不足
- 5) 除水不足

【正解】 ㊦ 3)

【解説】 音とは物体の振動であり、異音の発生原因は血液透析装置本体からのものと、血液回路からのものに大きく分けることが出来る。設問では装置からの異音は考える必要がないので、血液回路からの異音が対象となる。

- × 1) TMP とはダイアライザにおいて血液側の平均圧力と透析液側の平均圧力との差であり、TMPが増加するという事は、血液側の圧力上昇、透析液側の圧力低下もしくは両方である。血液側の圧力上昇はダイアライザから下流の血液回路内の抵抗の上昇が主な原因であり、血液回路の折れ、ねじれ、凝固等が考えられるが、異音は発生しない。透析液側の圧力低下はダイアライザの目詰まりや、過剰な除水量が考えられるが異音が発生するものではない。
- × 2) 漏血はダイアライザ内中空糸の破損により血液中の血球成分が透析液側に漏れでる現象であるが、異音が発生することはない。
- 3) 脱血が不良となるとポンプチューブ内が陰圧になり、チューブが復元しなくなる。ローラとチューブとの間に大きな隙間ができ、異音が生じることがある。また、血液ポンプ出口から、動脈チャンバーまでの回路が大きく振れることで異音が生じることがある。
- × 4) 抗凝固薬が不足した場合、血液回路中のダイアライザが目詰まりを起こしたり、チャンバー内に血栓が発生したりするが、異音を発生させることは

ない。

- ×5) 除水不足とは患者側の問題であり、装置に異音を発生させることはない。
また、除水不足が装置の不具合によるものであった場合、除水ポンプ等の不具合が考えられ、除水ポンプからの異音は可能性としてあるが、設問より考慮する必要がない。

【問題 22】 以下の条件で前希釈法により濾過流量一定でオンライン HDF を行った。フィルタの透析液側出口の流量[mL/min]はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

血液流量	200 mL/min
透析液供給流量	500 mL/min
実施時間	4 時間
補液流量	200 mL/min
除水目標量	2.4 L

- 1) 490
- 2) 500
- 3) 510
- 4) 700
- 5) 710

【正解】 ㉑ 3)

【解説】 除水速度は、

$$\frac{(2400)}{(4 \times 60)} = 10 \text{ mL/min}$$

また、補液速度は、200 mL/min であることから、濾過流量は、

$$200 + 10 = 210 \text{ mL/min}$$

となる。供給された 500 mL/min の透析液に対して、200 mL/min を補液として使い、濾液として 210 mL/min が排出されるので、ダイアライザ出口の透析液流量は、

$$500 - 200 + 210 = 510 \text{ mL/min}$$

となる。オンライン HDF では、透析液側出口の流量は、透析液供給流量に除水量を加えた値と等しい値となっている。

【問題 23】 酸化エチレン(EO)ガス滅菌法で正しいのはどれか。番号を解答欄

㉔ にマークせよ。[6]

- a. 液体の滅菌にも使用する。
- b. EO は二酸化炭素と混合して使用することが多い。
- c. 滅菌時間は 30 分程度である。
- d. 滅菌温度は 40～60℃ である。
- e. エアレーション時間は 1 時間程度である。

- 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】 ㉔ 6)

【解説】 EOG 滅菌法はガス滅菌法の一つであり，その基礎知識に関する問題である。

- × a. EO ガス滅菌法は，微生物を構成するたん白質のアルキル化を起こして滅菌する方式である。その反応には適度な湿度(30～80%)があるほうが滅菌効力を発揮する。湿度は必要であるが，しかし，液体及び過飽和の水分がある場合，(濡れている)器材を滅菌することはできない。
- b. EO ガスは広い濃度域で空気中において燃焼反応性が高く毒性も強いため，EO 濃度を 20% 程度にするため希釈安定剤として炭酸ガスを使用する。
- × c. EO ガス滅菌に必要な時間は 1～6 時間であるが，ガス濃度及び温度等により変動する。
- d. 滅菌温度は高い方が効果が高く，40℃ まではその作用は顕著である。EO ガス滅菌は低温滅菌法の一つであり耐熱性のない医療機器に適することから，一般的に 40～60℃ の範囲で使用する。
- × e. エアレーターを用いて，50℃ なら 12 時間程度，60℃ で 8 時間程度のエアレーションを行う。室温ではエアレーションに 7 日程度を要する。

【問題 24】 フローボリューム曲線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. フローボリューム曲線は努力性呼吸曲線から求められる。
- b. 上気道の閉塞性換気障害では \dot{V}_{75} は基準値内を示す。
- c. 末梢気道の閉塞性換気障害では \dot{V}_{50} 及び \dot{V}_{25} が低下する。
- d. 拘束性換気障害では努力性肺活量が低下する。
- e. 最大吸気位時点がフローボリューム曲線のピークフロー点となる。

- 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】 ㉓ 7)

【解説】 ピークフローメータで得られるフローボリューム曲線(図)に関する問題である。

- a.
- × b. 上気道の閉塞性換気障害ではピークフロー (PEFR) 及び \dot{V}_{75} の指標が低下する。
- c.
- d. 努力性肺活量 (FVC) とは VOLUME 軸の切片間の容量をいうが、拘束性換気障害ではこの値が小さくなる。
- × e. 最大吸気位時点では吸気が停止しよってフローはゼロとなる。また、ボリュームの計測は呼気開始からなされるため、最大吸気位時点ではフローボリューム曲線の原点となる

なお、 \dot{V}_{25} 、 \dot{V}_{50} 、 \dot{V}_{75} の特徴点は PEFR に基づく数値ではなく、FVC の 25、50、75% 時点の \dot{V} 値を指す。すなわち、横軸の FVC を 4 等分し、各時点のフローボリューム曲線のフロー (\dot{V}) 値をいう。

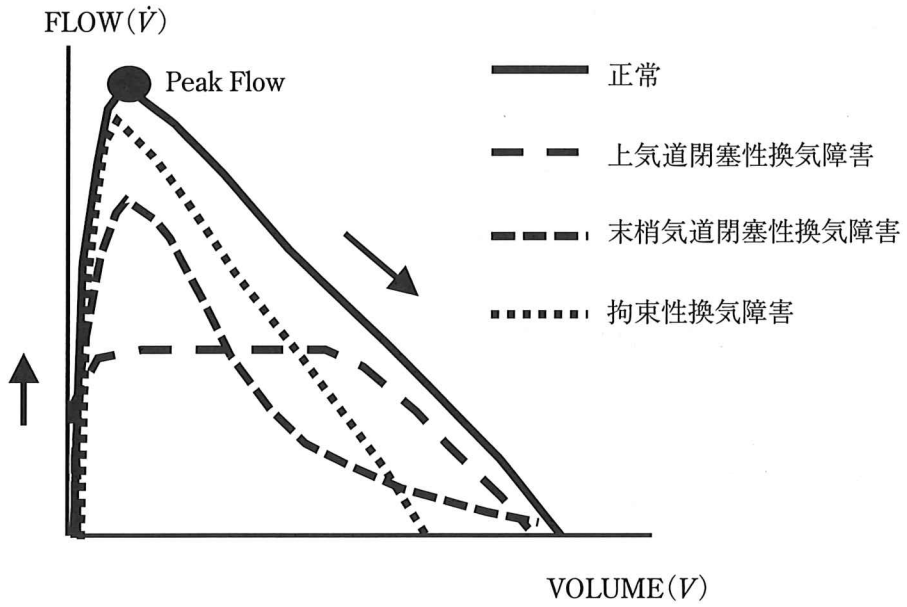


図 フローボリューム曲線

【問題 25】 デジタル脳波計について正しいのはどれか。番号を解答欄 24 にマークせよ。[6]

- a. モンタージュに用いられる誘導法には単極法と双極法がある。
- b. システムリファレンス電極を使用する。
- c. ニュートラル電極はアースに直接接続する。
- d. 高域遮断周波数は 30 Hz である。
- e. 低域遮断周波数は AD 変換器のサンプリング周波数で定まる。

- 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】 ② 1)

【解説】

- a. 他に平均電位基準法, 平衡型頭部外基準法, 発生源導出法などがある。
- b. 専用の独立した電極によるものや, C3 と C4 あるいは F3 と F4 の平均電位を基準としている。
- × c. 脳波計の増幅部は大地から絶縁されている。
- × d. 高域遮断周波数は外来ノイズが無ければ少なくとも 100 Hz 以上必要である。
- × e. サンプリング周波数によって定まるのは高域遮断フィルタである。

【備考】

サンプリング周波数と高域遮断フィルタの関係については, サンプリング定理に基づくエイリアシングの事象を理解しておく必要がある。デジタル脳波計には, サンプリング周波数を指定できる物もあり, その周波数に応じたアンチエイリアシングフィルタが設定される(通常サンプリング周波数よりも十分に低い $\frac{1}{3}$ 程度の周波数となる)。その周波数以下での高域遮断フィルタが設定可能な範囲となる。

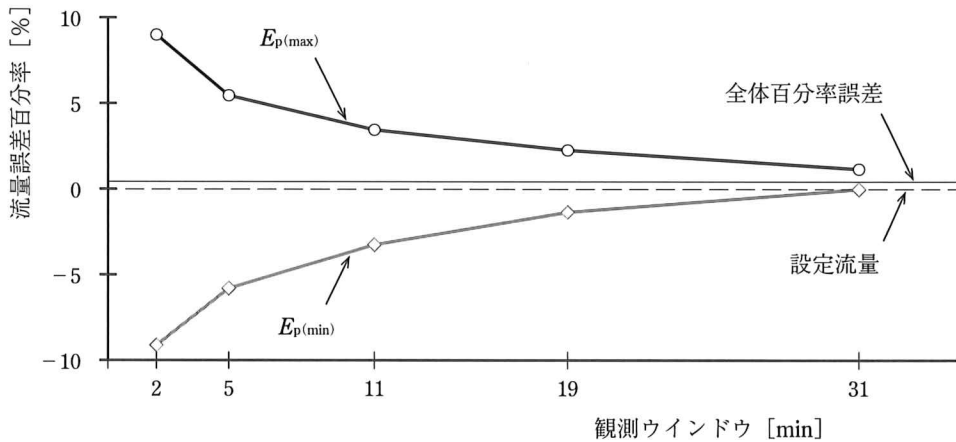
[参考文献]

一般社団法人 日本生体医工学会 ME 技術教育委員会監修 第 1 種 ME 実力検
定試験テキスト 第 2 部 A 第三章 脳波・筋電図計測器

【問題 26】 図は輸液ポンプの取扱説明書に記載された正確度を示すトランペットカーブである。誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。
[6]

- a. 流量は 30 秒間隔で測定すると規定されている。
- b. 解析期間はポンプスタート後 60 分から 120 分である。
- c. 流量の全体百分率誤差は $E_{p(max)}$ と $E_{p(min)}$ の間の値になる。
- d. 観測ウインドウが短時間の部分では総輸液量の正確さを確認できる。
- e. 観測ウインドウが長時間の部分では流量の脈動の様子を確認できる。

- 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



トランペットカーブ

【正解】 ㉔ 10)

【解説】 JIS T 0602-2-24 に輸液ポンプの正確度試験について示されている。また、JIS では輸液精度については規定されていない。輸液の正確度については取扱説明書にスタートアップカーブとトランペットカーブを示すこととされている。
× d. 観測ウインドウが短時間の部分では流量の脈動の様子を確認できる。
× e. 観測ウインドウが長時間の部分では総輸液量の正確さを確認できる。

【問題 27】 電気メスによる高周波分流が起こりやすいのはどれか。番号を解答欄 ⑳ にマークせよ。〔6〕

- a. 患者の指輪を外せない。
- b. 手の指先が側腹部に触れている。
- c. 小児に成人用対極板を使用する。
- d. 手術台に温水式加温マットを敷く。
- e. 対極板ケーブルを丸めたまま接続する。

- 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】 ⑳ 7)

【解説】 電気メスとは 300 kHz～5 MHz の高周波電流を流しアクティブ電極(メス先部分)に集中させてジュール熱を生じ切開・凝固を行う装置のこと。正常動作での高周波電流は、電気メス本体→アクティブ電極→対極板→電気メス本体という経路をたどる。この経路以外に高周波電流が流れることが高周波分流である。高周波分流の生じる原因は、正常の経路と並列にできる高周波回路である。生体が閉回路となって並列回路が形成されると高周波分流を生じる場合もある。一方、正常経路の高周波インピーダンスが上昇するような状態では、高周波インピーダンスの比較的低い部分に高周波電流が流れるような形で高周波分流が生じることもある。

患者の体の一部に金属が装着されていてもその金属が高周波電流の経路から絶縁されていれば高周波分流は起こらない。

- × a. 指輪が電気メス本体と絶縁されていれば高周波分流は起こらない。
- b. 手の指先が脇腹に触れていると体幹と腕と並列回路が形成され高周波分流が生じる。脇腹に接する指先の面積が小さいと高周波の電流密度が高まりジュール熱により熱傷を生じる恐れがある。
- × c. 正常の高周波経路が形成されるので高周波分流は起こらない。

- × d. 温水式加温マットが電気メス本体と絶縁されていれば高周波分流は起こらない。
- e. 対極板ケーブルを丸めると高周波電流に対してインダクタと同じ効果を生じ、高周波インピーダンスが上昇するため分流が起こり易くなると考えられる。

【問題 28】 レーザ治療装置として要求される安全項目でないのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) レーザ出力の精度
- 2) 繰り返し周波数
- 3) ガイド光の出力制限
- 4) ビームシャッタの耐久性
- 5) フットスイッチ

【正解】 ② 2)

【解説】 レーザ製品のクラス分けに従い、使用者が行わなければならない安全上の予防策、及び管理基準については、JIS C 6802:2014「レーザー製品の安全基準」に規定されている。さらに、治療用レーザー装置は、一般用・工業用レーザー装置と異なる環境で使用されるために、それらを考慮した諸規定が追加されている。

本選択肢以外で、治療用レーザー装置として要求される安全項目については、

- ・導光路がはずされときの安全
- ・規格、および試験方法
- ・使用上の注意について
- ・製造業者または販売業者の遵守事項

などがあげられる。

【選択問題 1】 血液ガス分析装置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. セバリングハウス型電極では P_{CO_2} に応じた還元電流が発生する。
- b. 採血器具に抗凝固剤としてクエン酸ナトリウムを添加する。
- c. HCO_3^- の値は pH と P_{CO_2} の実測値から演算で求めている。
- d. ただちに測定できない場合は、血液の温度を $37^{\circ}C$ 前後に保つ。
- e. 定期的なキャリブレーションが必要である。

- 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1) 9)

【解説】 血液ガス分析装置の測定原理を問う問題である。

× a. セバリングハウス電極は、ガラス電極と比較電極(銀—塩化銀電極)間に生じる電位差から二酸化炭素分圧(P_{CO_2}) を測定する。

× b. EDTA 塩やクエン酸塩は酸性物質であるため、これらの抗凝固剤を添加したうえで血液ガス分析を行うと pH へ影響(pH が低下)する。

なお、血液ガス分析を行う際の抗凝固剤にはヘパリンを用いる。

○ c. Henderson-Hasselbalch の式

$$pH = 6.1 + \log \frac{[HCO_3^-]}{0.03 \times P_{CO_2}}$$

より、

$$[HCO_3^-] = 0.03 \times P_{CO_2} \times 10^{pH - 6.1}$$

となる。

現在の血液ガス分析装置で重炭酸イオン濃度 $[HCO_3^-]$ は、実測で得られた pH と二酸化炭素分圧(P_{CO_2}) から、Henderson-Hasselbalch の式をもとに演算で求められている。

× d. 検体を保存しなければならない場合には、Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) のガイドライン(C46-A2: Blood Gas and pH Analy-

sis and Related Measurements ; Approved Guideline—Second Edition, 2009)にしたがい、以下のように対処する。

- ・プラスチックシリンジに採取した血液は、室温に保存し、30分以内に測定する。ただし、 P_{oc_2} が高い血液、白血球数や血小板数が高い血液、シャントの検索を目的とした血液では、5分以内に測定する。
 - ・30分以上の保存が必要な場合には、ガラスシリンジを使用し、氷水中(0~3℃)に保存する。
- e. キャリブレーションは、電極の精度管理を目的に行う。血液ガス分析装置では、専用のガスや溶液を用いた定期的なキャリブレーションが必要となる。

【選択問題 2】 医療用電動式吸引器の圧力源に用いるのはどれか。番号を解答欄
〔選 2〕にマークせよ。〔6〕

- a. ローラポンプ
- b. ダイアフラムポンプ
- c. 遠心ポンプ
- d. タービン
- e. ロータリーポンプ

- 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) 7)

〔解説〕 吸引器とは陰圧を発生させ、吸引びんや逆流防止びんなどを介して不要な液体などを吸引する装置である。医療用電動式吸引器は、医療ガス設備の吸引が無い場合不足している場合に用いられる。吸引の対象となるのは気管挿管患者や気管切開患者の気管内や口腔内の分泌物、手術中の術野からの出血や洗浄液、手術後の体内に貯留した血液や浸出液、内視鏡検査時の洗浄液などでその使用目的により吸引圧力に違いがある。ベッドサイドや手術室での吸引や運搬中患者の喀痰などを吸引するものなどにはロータリーポンプが用いられる。また、術後患者のドレインチューブから低圧で持続吸引するものにはダイアフラムポンプが用いられる。

- × a. 塩化ビニルなどの弾性を持つチューブをローラでしごいて血液を送り出す。ポンプの形状が大きく血球が損傷を受けやすいが、流量の制御は容易である。人工透析や人工心肺などに用いる。
- × c. 高速で回転するコーンや羽根車により生じる遠心力を利用して血液を送る。後負荷の影響を受けやすく流量の制御は難しいが、ポンプは小型で血液の損傷が少ないため PCPS など長時間の体外循環に用いる。
- × d. 流体を吹き付け、それによって翼をもった軸を回転させて動力を得る原動機。医療用電動式吸引器の圧力源には用いない。

【選択問題 3】 高気圧酸素治療装置の安全基準について誤っているのはどれか。
番号を解答欄〔選3〕にマークせよ。〔6〕

- 1) 装置内の警報ブザーは 2 系統以上の電源を設ける。
- 2) 装置内の二酸化炭素分圧の上限は 5 Torr である。
- 3) 排気系は直接屋外に放出する仕組みになっている。
- 4) 第 1 種装置で常用の最高治療圧は 2.8 絶対気圧になっている。
- 5) 第 1 種装置での人工呼吸器の使用は禁止されている。

【正解】 (選3) 2)

【解説】 高気圧酸素療法は、高い気圧下で高濃度の酸素を吸入させ血漿への物理的な溶解酸素量の増加を期待するものである。高気圧下では酸素の支燃性が大気圧下より高くなるため、装置の構造、性能、材質などの安全性について JIS T 7321「高気圧酸素治療装置」や日本高気圧環境・潜水医学会の「高気圧酸素治療の安全基準」で規定している。

- 1) 装置内の患者や医療従事者と装置外の操作者との通話装置および警報ブザーは治療の安全確保のために重要である。通話装置の電源系統の異常が発生する可能性もあるため、異なる 2 系統以上の電源系統からも電源が供給される構造にしなければならない(高気圧酸素治療の安全基準第 37 条-5)。
- × 2) 装置内の二酸化炭素の分圧は特別な理由がない場合を除いて 3.68 Torr (490 Pa・大気圧換算で 5000 ppm)を超えないように換気がされなければならない(高気圧酸素治療の安全基準第 28 条-2)。
- 3) 排気の場所に火気のないことを確認し、排気の場所に「火気厳禁」とする標示を行い、排気系からの排気は直接屋外に誘導放出できる仕組みになっていなければならない(高気圧酸素治療の安全基準第 27 条, 第 46 条)。
- 4) 治療圧とは高気圧酸素治療での治療(酸素投与)のために保持する圧力のことで、第 1 種装置の治療圧は常用で 2 絶対気(ATA)以上 2.8 絶対気圧(ATA)以下とし、いかなる場合も 2.8 絶対気圧(ATA)を越えてはならない(高気圧酸素治療の安全基準第 52 条)。第 2 種装置の治療圧は常用で 2 絶

対気(ATA)以上3絶対気圧(ATA)以下としている。

- 5) 第1種装置内に設けられるものは心電計および脳波計の電極, 通信装置のみである。人工呼吸器による呼吸管理を必要とする場合は, 第1種装置では患者の安全確保が困難な状況にあるため平成15年に禁止されている(高気圧酸素治療の安全基準第52条-2)。

【選択問題 4】 JIS T 7204-1989「医療用人工呼吸器」、および人工呼吸器警報基準(厚生労働省告示第 264 号)に基づいて点検を行った。異常なのはどれか。番号を解答欄【選 4】にマークせよ。[6]

- a. 換気量の誤差は設定値の±10% 以内であった。
- b. 酸素濃度の安定度は±3% 以内であった。
- c. 患者に送られるガスの温度は 40℃ であった。
- d. 警報は消音から 2 分 30 秒後に自動復帰した。
- e. 医療ガス供給源異常警報の確立時間は異常発生から 5 秒であった。

- 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】 (選 4) 10)

【解説】 JIS T 7204-1989「医療用人工呼吸器」、及び人工呼吸器の警報音「人工呼吸器警報基準(厚生労働省告示第 264 号, 平成 13 年 7 月 30 日)」により下記のように定められている。

- a. 1 回換気量または分時換気量の誤差および変動は設定値の±10% 以内でなければならない。
- b. 酸素濃度誤差は設定値の±10% 以内であり、安定度は±3 vol%で安定していなければならない。
- c. 呼吸回路の患者側端でのガス温度は、周囲温度より 5℃ 以上低くならず、また 41℃ を超えないように維持されなければならない。
- × d. 警報は消音から 2 分 30 秒後に自動復帰であった。
呼吸回路が外れた場合など発せられる警報を一時消音した場合には、警報消音時から 2 分以内に自動的に当該警報を発する機能(自動復帰能)をもたなければならない(厚生労働省告示)。
- × e. 医療ガス供給源異常警報の確立時間は異常発生から 5 秒であった。

電源または医療ガス供給源の異常によって作動する警報は、即時に作動

し、異常が回復しない限り少なくとも 2 分間は作動しなければならない。
したがって、d, e が異常である。

【選択問題 5】 経皮的血液ガス分圧測定について正しいのはどれか。番号を解答欄【選5】にマークせよ。[6]

- 1) 電極装着部を 37℃ に加温する。
- 2) 皮膚組織の代謝が亢進すると $tcPco_2$ が低下する。
- 3) 新生児に対する測定は禁忌である。
- 4) 長時間の測定では 3~4 時間ごとに電極装着部位を変更する。
- 5) 電極は皮膚との間に生理食塩液で濡らしたガーゼを挟んで装着する。

【正解】 (選5) 4)

【解説】 経皮的血液ガス分圧測定とは、皮膚に電極を装着し、血液から皮膚に拡散してくる酸素や二酸化炭素を測定するものである。

- × 1) 皮膚を加温すると血流量が増加し、また酸素についてはヘモグロビンからの解離が促進する。これにより、血液から皮膚へのガス拡散が高まる。そのため経皮的血液ガス分圧測定では、電極が装着部の温度を 42~43℃ に加温している。
- × 2) 皮膚の代謝が促進すると、二酸化炭素の産生が増加するため、皮膚での二酸化炭素分圧($tcPco_2$)の測定値は上昇する。
- × 3) 新生児や乳幼児は角質層が薄く、皮膚表面からのガス拡散が成人よりも高いため、経皮的血液ガス分圧測定は有用である。また、採血が不要で連続測定が可能な点からも、新生児や乳幼児の経皮的血液ガス分圧測定の有用性は高いといえる。
- 4) 電極の加温によって装着部の温度が 42~43℃ に上昇する。そのため、熱傷を引き起こす恐れがあり、長時間の測定では 3~4 時間ごとに電極装着部位を変更しなければならない。
- × 5) 電極は、専用のコンタクト液を介して皮膚に接触させる。なお、電極と皮膚の間に空気が混入した場合には、信頼性のある測定値は得られない。

【選択問題6】 呼吸器系の総コンプライアンス C 、肺コンプライアンス C_L 、胸郭コンプライアンス C_W の関係について正しいのはどれか。番号を解答欄(選6)にマークせよ。[6]

1) $C = C_L + C_W$

2) $C = C_L \cdot C_W$

3) $C = \frac{C_L}{C_W}$

4) $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_L} + \frac{1}{C_W}$

5) $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_L} \cdot \frac{1}{C_W}$

【正解】 (選6) 4)

【解説】 換気力学に関する肺コンプライアンスの問題である。

肺と胸郭系の弾性について考えると、肺に ΔV の容積変化を起こし、そのときの肺胞内圧と胸腔内圧の差から肺コンプライアンス C_L が、胸腔内圧と大気圧との差から胸郭コンプライアンス C_W が計算できる。

また、呼吸器系の総コンプライアンス C と C_L 、 C_W の間には、

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_L} + \frac{1}{C_W}$$

の関係がある。これは、電気回路において、キャパシタを直列接続したときの合成容量の逆数は各キャパシタの逆数の和に等しくなることと同じ考え方である。

【選択問題 7】 経皮的冠動脈インターベンション(PCI)について誤っているのはどれか。番号を解答欄〔選7〕にマークせよ。〔6〕

- a. ステント拡張のためにバルーン内圧を 10~20 気圧程度にする。
- b. ステント留置部に重ねてステントを留置することは禁忌である。
- c. 数年で生体に吸収されるタイプのステントがある。
- d. ロータブレータの使用で心電図変化が起こることはない。
- e. 治療部の状態は IVUS で確認する。

- 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】 〔選7〕 6)

【解説】 経皮的冠動脈インターベンション(PCI)の臨床現場に必要な知識を問う問題である。

- a. ステント拡張のためには造影剤を注入して、バルーン内圧を 10~20 気圧程度にする必要がある。
- × b. 金属ステント(BMS: bare metal stent)留置後に再狭窄したような場合は、薬剤溶出型ステント(DES: drug eluting stent)を金属ステント留置部に重ねて留置することがある。
- c. 生体吸収性冠動脈ステントは数年で完全に生体に吸収されるので、BMS や DES のように金属の構造体が残ることによる生体異物反応の心配がない、現在最も進んだステントである。
- × d. 石灰化病変部位にロータブレータを使用すると冠動脈末梢に削り滓が流れて一時的な虚血状態が生じ、心電図変化や血圧低下が起こることがある。
- e. 治療部の状態は血管内エコー(IVUS: intro-vascular ultra-sound)で確認するのが一般的である。

【選択問題 8】 ICD が心室細動の検出不全を起こす可能性があるのはどれか。番号を解答欄〔選 8〕にマークせよ。〔6〕

- a. 心室細動の周波数が検出レートを下回る場合
- b. 完全房室ブロックが生じている場合
- c. ペーシング閾値が上昇している場合
- d. 心房細動が持続している場合
- e. 心室の心内波高値が大きく変動する場合

- 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】 (選 8) 4)

【解説】 ICD は薬物抵抗性のある心室細動や心室頻拍を起こす患者に植え込まれる。本体と電極リードから構成され、本体には内部回路、バッテリーの他電池寿命を知らせるスピーカが内蔵されているものもある。電極リードは先端部に遠位電極と遠位スプリング電極、近位部には近位スプリング電極が挿入されている。

頻拍の検出はレートによって行う。プログラミングした設定レートを超えた場合頻拍と認識し治療を開始する。検出レート設定後アミオダロン等の抗不整脈薬治療により、基本周期が遅い VT が出現することがあるが、その際は検出不全を起こすことがある。

基本周期が比較的遅い VT では波高の変動が少ないが、基本周期が速い VT では波高の変動があり一部はアンダーセンシングすることがある。

また、心室細動は、心室内波高を検出しているため、大きく変動するとアンダーセンシングすることがある。

○ a. 心室頻拍、心室細動は心拍数により検出しているが、設定レートより低い心室細動は、検出不全となる。また、VF の検出心拍数は VT より高い心拍数で設定されている。

× b. ICD はペーシング機能を持っているので、完全房室ブロックが生じている

場合は、ペーシングを行う。完全房室ブロックと心室細動の検出とは無関係である。

- × c. ペーシング閾値が上昇している場合も心室細動の検出とは無関係である。
- × d. 心房細動が持続している場合、心室レートが VT, VF の感知基準を超えると不適切作動を起こしてしまう。
- e. 基本周期の早い心室頻拍、心室細動では波高の変動があり、一部アンダーセンシングするため、一定の時間内である心拍数以上の波形がどのくらい検出されるかで設定する。

【選択問題 9】 熱希釈式心拍出量計について正しいのはどれか。番号を解答欄

〔選 9〕にマークせよ。[6]

- a. 注入熱量が血液に移行することを利用する。
- b. 測定には血液よりやや高い温度の液体を血管内に注入する。
- c. 温度測定は液体注入口が位置する心室内で行なう。
- d. 温度変化の測定には熱電対を用いる。
- e. 右心室の拍出量を測定する。

- 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】 (選 9) 4)

【解説】 心拍出量計とは心臓の駆出量を測定する装置である。熱希釈式心拍出量計を用いた心拍出量測定では、冷水を血液に混ぜると急速にかつ均一に熱が奪われ注入熱量と血液に移行した熱量とが同じであることを利用する。冷水注入後の心臓血管内を流れている血液の温度変化を希釈曲線として描き、血流量を測定する。このときの冷水(生理食塩液またはブドウ糖液)はサーモダイリューションカテーテルの注入用側孔(通常右心房に位置する)から注入する。冷水と血液とが混合して生じる温度変化は、肺動脈内に位置するカテーテル先端のサーミスタにより測定する。冷水の温度と注入量が既知であれば、冷水注入により低下した血液温度が元の体温にまで戻る時間を測定することにより右心室の拍出量が算出できる。心内にシャントが無ければ左室と右室とで拍出量は一致する。

- × b. 生理的溶液(ほぼ 0℃ の生理食塩液またはブドウ糖液)を注入する。
- × c. 通常右心房からブドウ糖液等を注入し、右心房からの血液が流入する肺動脈にカテーテル先端部のサーミスタを置き温度を測定する。
- × d. 温度測定用センサにはサーミスタを用いる。

【選択問題 10】 光ファイバ圧センサ付 IABP カテーテルについて正しいのはどれか。番号を解答欄(選10)にマークせよ。[6]

- a. 大動脈起始部の血圧波形が得られる。
- b. 導管による伝搬ひずみのない血圧波形が得られる。
- c. 光源はカテーテル先端部にある。
- d. 不整脈発生時の動脈圧トリガによる時間遅れの問題は起こらない。
- e. カテーテル先端の受圧部で検出しているので時間遅れがない。

- 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10) 7)

【解説】 通常 IABP カテーテルは血圧測定のためにカテーテル内腔の動脈圧ラインを使用するが、カテーテルの物理的な性状により波形歪みを生ずることがある。そこで、最近ではカテーテル内腔の代わりに光ファイバ型の圧センサを使用することで、波形歪みのない動脈圧波形を得ることができる IABP カテーテルが使用されるようになってきている。

- × a. カテーテルの先端は鎖骨下動脈分岐部に留置されるので、大動脈起始部の血圧波形が得られるわけではない。
- b. 光を利用しているので、導管による伝搬ひずみのない血圧波形が得られる。
- × c. 光源は本体側にあり、カテーテル先端部ではない。
- × d. 光を利用しても不整脈発生時の動脈圧トリガによる時間遅れの問題は発生する。
- e. カテーテル先端の受圧部で検出しているのでカテーテルそのものによる時間遅れはない。

【選択問題 11】 開放型人工心肺回路からの空気誤送の対策とならないのはどれか。番号を解答欄(選 11)にマークせよ。[6]

- 1) ベント回路の逆流防止弁
- 2) 送血回路の動脈フィルタ
- 3) 静脈貯血槽の陽圧防止弁
- 4) 静脈貯血槽のレベルセンサ
- 5) 吸引補助脱血

【正解】 (選 11) 5)

【解説】 開放型人工心肺回路からの空気誤送の原因として以下の事例が考えられる。よって、これらへの対策が必要となる。

- ①静脈貯血槽が空になり送血回路から全身に空気を送る
- ②ベントポンプを逆回転させて心臓へ空気を送る
- ③ベントチューブを逆に掛けて心臓へ空気を送る
- ④静脈貯血槽が陽圧になり静脈へ空気を送る
- ⑤人工肺が陰圧になり空気を引き込む
- ⑥回路の気泡抜きが不十分で気泡を送る
- ⑦ポンプ回路の傷あるいは枝回路から空気を引き込んで送る

○ 1) 上記②, ③への対策。「人工心肺における安全装置設置基準 第 5 版(日本体外循環技術医学会勧告)」で強く推奨されている。

○ 2) 上記①, ⑤, ⑥, ⑦への対策。上述の「人工心肺における安全装置設置基準」で必須とされている。

○ 3) 上記④への対策。3 学会合同*吸引補助脱血体外循環検討委員会から勧告されている。陰圧吸引補助脱血法を用いるため静脈貯血槽を密閉状態で使用した場合, 吸引回路からの過剰な空気吸引により貯血槽内が陽圧になると, 脱血回路から静脈への空気誤送の原因となる。

*日本胸部外科学会, 日本心臓血管外科学会, 日本人工臓器学会

○ 4) 上記①への対策。上述の「人工心肺における安全装置設置基準」で必須と

されている。

- × 5) 落差脱血の補助として安定した脱血流量を得るための手法であり，安全対策ではない。

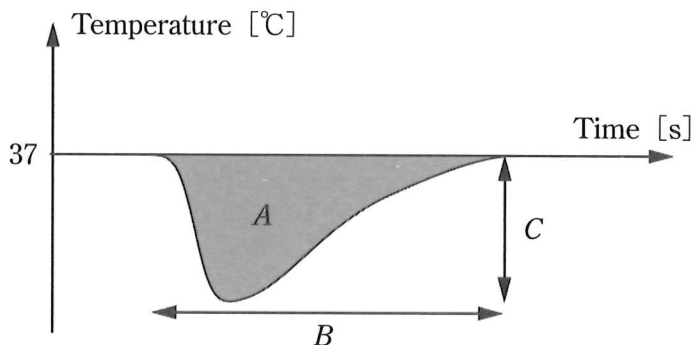
[参考文献]

- 1) 見目恭一，福長一義編：臨床工学講座 生体機能代行装置学 体外循環装置，医歯薬出版，2015。
- 2) 許俊説，富澤康子編：人工心肺安全ガイドライン，学研メディカル秀潤社，2007。

【選択問題 12】 熱希釈法による心拍出量計測においては下図のような温度計測結果が得られる。誤っているのはどれか。番号を解答欄(選12)にマークせよ。

[6]

- 1) 注入液の温度が低いほど C が大きくなる。
- 2) 肺動脈血流速が小さいほど B が小さくなる。
- 3) 心拍出量が小さいほど C が小さくなる。
- 4) 注入液の熱量は流路外にも散逸する。
- 5) 心拍出量が大きいほど面積 A が小さくなる。



【正解】 (選12) 3)

【解説】 熱希釈法による心拍出量計測は、「上流で注入した熱量」＝「下流で温度計測した熱量の和」で方程式が導かれる。これはフィックの原理としてよく知られている。これに先立ち熱量の公式が必要になり、熱量 $Q = mc\Delta T$ によって求められる。(m : 質量, c : 比熱, ΔT : 変化温度)

次に、血流計測への応用を考えると、血管の断面積 S 、そこを流れる血流が一定速度 v とすれば、時間 Δt の間に移動する体積は $V = S \cdot v \cdot \Delta t$ であるので、血液の密度 ρ とすると時間 Δt の間に移動質量は $m = \rho \cdot V = \rho \cdot S \cdot v \cdot \Delta t$ である。

熱希釈法による心拍出量の計測は、スワンとガンツによって開発されたカテーテル(サーモダイリユーションカテーテル)が用いられる。これは静脈系より挿入

したカテーテルで肺動脈の血流を計測すれば、その値は大動脈の血流と等しいという前提で考えると、心拍出量に等しいので、静脈系(右心系)から心拍出量(CO)を計測できる。

心拍出量をボラスショット(bolus injection：塊という意味)による方法は、カテーテルの根元から0℃のブドウ糖溶液を一気に注入し、カテーテル途中から血管内へ注入され、それをカテーテル先端の温度センサで計測する。

$$\text{(上流で注入した熱量)} = \rho_G \cdot c_G \cdot V \cdot (T_B - T_G)$$

ρ_G, c_G ：それぞれグルコース溶液の密度と比熱

T_B ：体温, T_G ：注入グルコース溶液の温度

$$\text{(下流で温度計測した熱量和)} = \sum_i \rho_B \cdot c_B \cdot S \cdot v \cdot \Delta t \cdot T(t_i) = \int \rho_B \cdot c_B \cdot S \cdot v \cdot T(t) dt$$

ρ_B, c_B ：それぞれ血液の密度と比熱

$T(t)$ or $T(t_i)$ ：先端で計測した血液の温度

ここで計測したいのは $Q = S \cdot v$ であるので、

$$\rho_G \cdot c_G \cdot V \cdot (T_B - T_G) = \rho_B \cdot c_B \cdot S \cdot v \cdot \int T(t) dt = \rho_B \cdot c_B \cdot Q \cdot \int T(t) dt$$

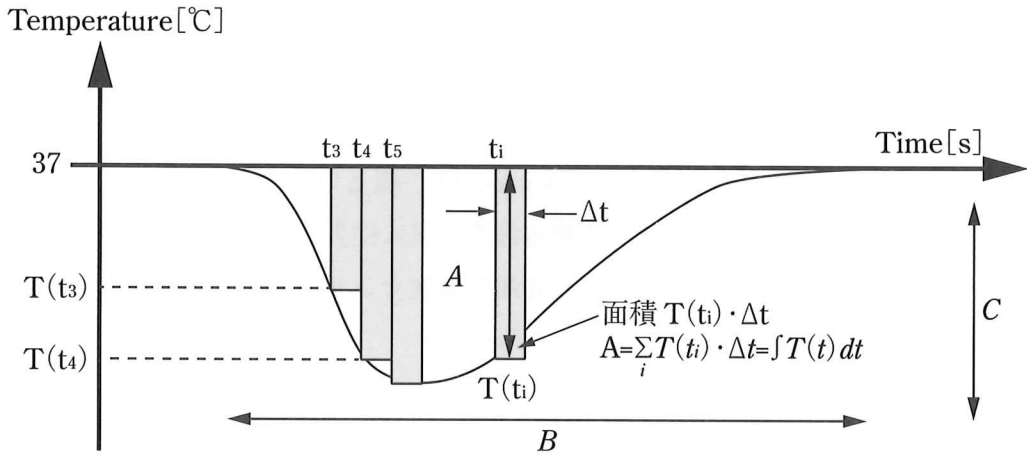
∴ ρ_B, c_B, S, v は時間で変化せず一定

$$\therefore Q = \frac{\rho_G \cdot c_G \cdot V \cdot (T_B - T_G)}{\rho_B \cdot c_B \int T(t) dt} \dots\dots \text{カテーテル係数を乗じ心拍出量が計測される。}$$

この式から、分子は注入熱量で、分母は血液の密度、比熱と温度の時間積分であるので、血流によって変化するのは温度の時間積分だけである。

そこで、流れが速ければ、 B は短くなるはずである(時間的拡がり小さい)。また同様に、温度計に熱塊が触れる時間が少なくなるので温度変化 C が少なくなり(空間的拡がり小さい)、温度の面積 A は小さくなる。よって一般に健康な心臓では、 A は小さく、 B は小さく、 C は小さくなるはずである。

また4)にある熱希釈法の最大の欠点は肺動脈の外に熱は逃げてしまうことである。しかし色素希釈法では色素は血管外へ逃げるできないので精確な心拍出量の計測が可能である。色素として用いられる ICG(インドシアニングリー



ン)は15分間で、肝臓で90%以上が分解されるので、注入直後の第1回目の山は肝臓を通過しないので分解されず空間的と時間的にわずかに拡がり大きな山である。しかし、ヒトの体を循環する時間は約1~2分弱なので2回目の山が1回目の山と融合することがある欠点を持っている。(2回目の山は肝臓を1度通過しているので、肝硬変でなければ、15分間で10%以下に分解され、空間的と時間的に広がっているので、かなり低くなる。)

また最近ではサーモダイリュेशनカテーテル(Swan-Ganz catheter)に熱源発生装置を装着させ連続的に計測できる心拍出量計測が一般化している。こちらを連続心拍出量 CCO (Continuous Cardiac Output) と呼び、1日数回程計測するボラスショットによる従来の方法を BCO (Bolus Cardiac Output) と呼んで区別している。

【選択問題 13】 ベッドサイド型人工膵臓に用いられるグルコースセンサについて正しいのはどれか。番号を解答欄(選 13)にマークせよ。[6]

- a. 過酸化水素電極が用いられる。
- b. 酵素の変性を防ぐため 37℃ 付近で保管する。
- c. 皮下に針型のセンサを留置する。
- d. 血糖値の連続測定が可能である。
- e. 1 週間程度は交換不要である。

- 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 13) 3)

【解説】 ベッドサイド型人工膵臓は、膵臓の機能のひとつである血糖値のコントロールを代用するものである。主な用途および基本構成については、第 21 回選択問題 14 の解説を参照されたい。グルコースコントロールを行うため、酵素電極法にて血糖値を連続的にモニタリングする。

- a. ブドウ糖酸化酵素に電圧を加え、反応して発生した過酸化水素(H_2O_2)を測定する。
- × b. 室温(10℃ を超える温度)で保管すると酵素が変性する恐れがある。また、0℃ 以下にすると凍結により電極が損傷する恐れがある。
- × c. カテーテル内でヘパリン加血液にしてチューブを介して酸化酵素電極へ送り、連続的に測定している。皮下組織にセンサを刺して測定するのは、持続血糖モニター装置(CGMS)である。
- d. 静脈に留置した二重内腔カテーテルから持続的に採血(2 mL/hr を超えない程度)し、血糖値を連続的にモニタリングすることが可能である。
- × e. 連続使用により、正しい校正ができず血糖測定値の精度が維持できなくなるため、24 時間以上は使用しない。単回使用である。

【選択問題 14】 腹膜透析について誤っているのはどれか。番号を解答欄(選 14)にマークせよ。[6]

- a. 駆動力は濃度差と浸透圧差である。
- b. 残存腎機能をあわせた週あたりの Kt/V は 1.0 が推奨される。
- c. 自動灌流装置で注排液される。
- d. 自動接続装置ではカテーテルの接続部を殺菌しながら接続する。
- e. 透析液を使用する直前に専用装置を用いて濃度を調整する。

- 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】 (選 14) 7)

【解説】 腹膜透析に関する問題である。

- a. 濃度差を駆動力とした拡散により物質除去がなされ、浸透圧差を駆動力とした限外濾過により過剰水分が除去される。機械的圧較差ではない。
- × b. 腹膜透析量は週あたりの尿素 Kt/V で評価し、PD と残存腎機能をあわせた Kt/V は 1.7 が推奨されている。
- c. 夜間腹膜透析では、腹膜透析液の注入、排液を夜間に数回自動的に行う装置が利用されている。
- d. 熱溶着式自動接合装置では接続用コネクタを使用せず、加熱銅板で 2 本のチューブを溶着する。同時に殺菌もできる。
- × e. 血液透析と異なり、既に濃度の調整された透析液を使用する。
従って、b, e の 7) が誤っている組合せである。

【選択問題 15】 オンライン HDF 用の水処理で正しいのはどれか。番号を解答欄

①選 15② にマークせよ。[6]

- 1) エンドトキシン(ET)濃度は 0.01 EU/mL 以下を目標とする。
- 2) エンドトキシン捕捉フィルタ(ETRF)の寿命は ET 濃度で判断する。
- 3) ETRF には V 型ダイアライザが含まれる。
- 4) 細菌管理用の採水量は 1 mL である。
- 5) 細菌の検出方法は特に定められていない。

【正解】 ①選 15② 5)

【解説】 オンライン HDF は専用装置を用いて、各装置専用の ETRF にて水処理を行っている。ETRF の寿命は各社で定められているが、寿命期間内で異常が認められればその時点で交換となる。

- × 1) オンライン透析液の ET は 0.001 EU/mL 未満と定められている。
- × 2) 定められた期間で交換する。ただし、通常の透析液ライン、RO 水ラインに施設独自で設置した ETRF には、推奨交換期間しか定められていない。
- × 3) 各装置に適合した指定の ETRF を使用する。
- × 4) 細菌数は 0.1 CFU/mL 未満を確認する必要があることから、最小でも 50 mL の採水は必要である。
- 5) 細菌の検出には R2A 培地を使用することが多いが、培地や培養方法の指定は無い。

【選択問題 16】 血液浄化療法におけるトラブルやその防止に関して適切なのはどれか。番号を解答欄(選 16)にマークせよ。[6]

- 1) 血漿交換では血液流量に対する血漿流量の比を大きくすると血漿分離器の膜間圧力差が下がる。
- 2) 静脈側穿刺針の抜針(脱落)を発見したら、まず穿刺部位の止血を行う。
- 3) 腹膜透析の排液が白濁している場合、完全に排液しない方がよい。
- 4) 血液流量を変更する際、内シャントより動脈表在化の方が心拍出量(心負荷)に対する影響が大きい。
- 5) 白血球除去療法で動脈圧が静脈圧より低下した場合、直接原因として脱血不良がある。

【正解】 (選 16) 4)

【解説】 種々の血液浄化療法における不具合に関する問である。

- × 1) 血漿交換(PE)において、血漿流量(Q_P) は血液流量(Q_B) の 20~25% 程度に設定される。 $\frac{Q_P}{Q_B}$ を上昇させると、精密濾過膜を透過しない有形成分の濃縮や、膜面の濃度分極により、膜間圧力差は上昇する。
- × 2) 治療中に静脈側が抜針(脱落)した場合、適切な静脈圧等の設定がされていれば警報と共に血液ポンプは停止するが、停止しなければ血液ポンプの流量で出血することになる。一方、抜けてしまった穿刺部からの出血は、通常静脈であるため血液ポンプほどの流量で出血することは考えにくい。したがって血液ポンプの停止(停止していることの確認)の方が、止血より優先度が高い。
- × 3) 腹膜透析排液の白濁は感染性腹膜炎が考えられる。その場合は腹膜透析液を頻回交換するとともに、排液時はなるべく残液しないよう行う。
- 4) 内シャントの場合、透析/非透析にかかわらず常に心拍出量の一部を抹消へ送らずにバイパスさせている。一方、動脈表在化の場合は透析中のみ心拍出量の一部を体外循環させており、血流量を上げるほど抹消へ送られるべき血液をバイパスさせてしまう。したがって血流量に対する心負荷の影響

響は、内シャントより大きいと考えられる。

- × 5) 脱血不良のみで他にトラブルが無ければ、動脈圧ならびに静脈圧の両方が低下するが、動脈圧が静脈圧より低下することは考えにくい。

【選択問題 17】 4 時間の後希釈オンライン HDF 治療で透析液排液を全量貯留した。治療条件は、血流量 200 mL/min, 透析液流量 500 mL/min, 総補液量 9.0 L, 総除水量 4.0 L であった。得られた透析液を十分に攪拌して尿素の濃度を測定したところ、80 mg/L であった。この治療で除去された尿素の質量[g]として最も近い値はどれか。番号を解答欄(選 17)にマークせよ。ただし、尿素の膜への吸着はないものとする。[6]

- 1) 0.96
- 2) 2.7
- 3) 3.4
- 4) 9.9
- 5) 11

【正解】 (選 17) 4)

【解説】 4 時間の透析治療中に得られた透析排液の総量は

$$500 \times 60 \times 4 \div 1000 + 4 \text{ L} = 120 + 4 = 124 \text{ L}$$

したがって、除去された物質の質量は、

$$80 \text{ mg/L} \times 124 \text{ L} = 9920 \text{ mg}$$

となるため、約 9.9 g である。

【選択問題 18】 血液透析中に透析液排液中の尿素濃度を連続してモニタリングしていたところ、徐々に濃度が低下していったが、ある時点で急激な濃度低下が観察された。考えられるのはどれか。番号を解答欄〔選 18〕にマークせよ。〔6〕

- a. 透析液流量の低下
- b. 血流量の低下
- c. 濾過ポンプの停止
- d. 再循環の発生
- e. 透析液圧の低下

- 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) 6)

【解説】 物質収支により、単位時間に血液側から除去された尿素的の量と透析液に排出された尿素的の量は等しい。また単位時間に透析液中に排出された尿素的の量は、排液中の尿素濃度と透析液流量(透析器出口)の積で表される。

- × a. 透析液流量が低下すると、透析液排液中の尿素濃度が増加する。
- b. 血流量が低下すると除去される尿素的の量が減るので、透析液排液中の尿素濃度は低下する。
- × c. 濾過ポンプが停止すると、透析液流量(透析器出口)が低下するので、aと同様、透析排液中の尿素濃度は増加する。
- d. 再循環が発生すると、血液中の尿素濃度が低下するため、除去される尿素的の量が減少する。そのため、透析液排液中の尿素濃度は低下する。
- × e. 透析液圧の低下は影響しない。

【選択問題 19】 放射線滅菌法で正しいのはどれか。番号を解答欄(選 19)にマークせよ。[6]

- a. 微生物細胞の分子を励起や電離して滅菌する。
- b. γ 線源にはネオジウムが使用される。
- c. ポリエチレン製袋の内部の材料は滅菌できない。
- d. 滅菌インジケータは不要である。
- e. 電子線による滅菌処理には数時間かかる。

- 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】 (選 19) 3)

【解説】 本問題は放射線滅菌法の機序及び特徴(最終的な出荷包装での滅菌に適する理由等)を確認する目的で作題された。

- a. 滅菌機序は放射線が通過すると微生物細胞の分子を励起や電離して、反応性の高い活性種を作ることによる。
- × b. γ 線の発生源にはネオジウム(原子番号 60)ではなくコバルト 60(原子番号 27, 陽子 27+中性子 33)が使用される。コバルト 60 は, β 崩壊をしてニッケル 60 になる。このとき放出される β 線のエネルギーは 0.318 MeV である。そして, 崩壊生成物のニッケル 60 が γ 崩壊をして 1.17 MeV と 1.33 MeV の 2 本の γ 線を放出する。すなわち, γ 線はニッケル 60 から放出される。



- × c. 密封されたポリエチレン製袋の内部の材料に対して滅菌ができる。
- d. 線量だけで滅菌の判定を行い, 滅菌処理後の無菌試験を行うことなく出荷できる。
- × e. 電子線による滅菌では数秒～数分で処理できる。

【選択問題 20】 FDG-PET(Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography)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) 陽電子で標識したグルコースを投与する。
- 2) 放射線被曝がある。
- 3) コンピュータを使った計算で画像を作る。
- 4) グルコースの代謝が活発な部位を描出する。
- 5) 描出しにくい種類の悪性腫瘍がある。

【正解】 (選 20) 1)

【解説】 崩壊すると陽電子を放出する放射性同位元素(陽電子放出核種)の空間的分布を画像にする装置が PET 装置である。

ある物質 X の分子の一部を放射性同位元素で置き換えることを「X を(放射性同位元素で)標識(label)する」と言う。グルコースの水酸基 (-OH) のひとつを陽電子放出核種 ^{18}F で置き換えることによって標識した薬剤が FDG (^{18}F -FDG)である。陽電子放出核種が自然崩壊すると (^{18}F の半減期は約 110 分)陽電子(positron)が放出される。陽電子と電子が衝突すると、両方とも消滅して γ 線光子が生じる(対消滅)。なお、陽電子放出核種はサイクロトロン等を使って人工的に作られる。

FDG を患者に投与すると、グルコース代謝が活発な組織に多く取り込まれる。すると FDG 中の ^{18}F が自然崩壊して陽電子を放出し、周囲に大量にある電子のどれかと即座に対消滅を起こして、 γ 線が人体外に飛び出してくる。これを PET 装置で捉えて画像化するのが FDG-PET 検査である。

- × 1) 陽電子で標識するという事はできない。
- 2) 対消滅で発生する γ 線による被曝が生じる。
- 3) γ 線の飛来方向と検出時刻の大量のデータから複雑な計算によって画像を作る。
- 4) FDG はグルコース代謝が活発な部位に多く取り込まれる。
- 5) 正常な組織も FDG を取り込むので、FDG が異常に集積しているかどうか

判定できない場合があり、特に、正常でもグルコースを大量に代謝する脳や心臓、また、FDG の代謝産物 (^{18}F を含む) が集積する泌尿器系の臓器では区別しにくい。

【選択問題 21】 図 1 に示す構造のシリンジポンプにおいて、スライダの推力 $F=3.2\text{ N}$ で薬液を送り出す場合、送りネジを 1 回転させると、スライダは 1 ピッチ ($p=1.2\text{ mm}$) 分移動することになる。また、図 2 に示すネジ山の部分はリード角 θ だけ傾いて表され、

$$\tan\theta = \frac{p}{\pi d}$$

となる。

ここで、摩擦を無視すると、送りネジのトルク T_s によりネジの外周に発生する力 Q のネジ山に沿った分力と、推力 F のネジ山に沿った分力が釣り合う。このときスライダを動かすために必要な送りネジのトルク $T_s[\text{mNm}]$ はどれか。番号を **選 21** にマークせよ。[6]

- 1) 0.61
- 2) 2.6
- 3) 3.8
- 4) 7.7
- 5) 12

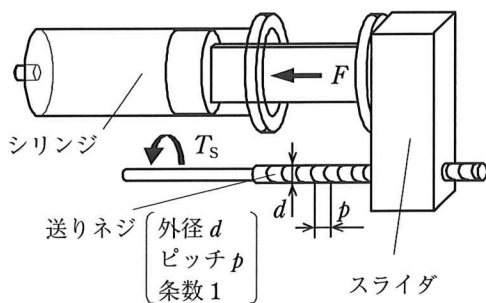


図 1

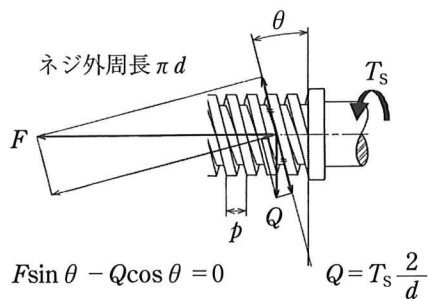


図 2

[正解] (選 21) 1)

[解説] メカニズムを解析するためには作用する力のバランスを考える必要がある。ねじの斜面について摩擦が無視できると、問題の説明どおりに式を立てると

$$F \sin \theta = T_s \frac{2}{d} \cos \theta \cdots \cdots \cdots 1)$$

となる。従って、

$$T_s = \frac{Fd}{2} \frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{Fd}{2} \tan \theta = \frac{Fd}{2} \frac{p}{\pi d} = \frac{Fd}{2\pi} = \frac{3.2 \times 1.2 \times 10^{-3}}{2\pi} = 0.61 \times 10^{-3} \text{ Nm}$$

もっと簡単に解くには、スライダを推力 F で 1 ピッチ分動かすのと、送りねじをトルク T_s で 1 回転させるのが同じ仕事なので、

$$Fp = 2\pi T_s$$

より

$$T_s = \frac{Fp}{2\pi}$$

となり、同じ答えが得られる。ただし、摩擦が無視できなければ式 1) に摩擦の項を加えて解析する必要がある。

【選択問題 22】 マルチスライス CT(MDCT)を用いた CT コロノグラフィーについて誤っているのはどれか。番号を解答欄(選 22)にマークせよ。[6]

- 1) 大腸がんスクリーニングに用いられる。
- 2) 肛門からチューブで炭酸ガスを注入する。
- 3) 腸管内の残便の影響を受けない。
- 4) 撮影したデータから仮想内視鏡像が得られる。
- 5) 背臥位と腹臥位の 2 体位撮影を行う。

[正解] (選 22) 3)

[解説]

- 1) 大腸スクリーニング検査は便潜血検査、注腸 X 線検査、内視鏡検査が主流であり、近年の MDCT の普及や大腸解析ソフトの進歩、検査の低侵襲性などから注目されており、保健適応となったことから広く普及してきている。
- 2) CO₂の方が空気に比べ腸管からの吸収が約 130 倍速いといわれており、検査後の膨満感を軽減することができることから、受容性向上の点でスクリーニング CT コロノグラフィー(CTC)では炭酸ガスの使用が望ましい。その吸収の速さから検査中は持続注入が可能な CTC 用炭酸ガス自動注入器が使用される。
- × 3) 腸管内の残液や残便は読影の妨げとなり、病変検出能が低下する原因となる。
- 内視鏡検査では残液や小さな残便であれば吸引し盲点をなくすことができるが、CT コロノグラフィーではそれが不可能である。前処置によって、いかに腸管内をきれいに洗浄できるかが精度の高い検査を行う上で重要なポイントとなる。最近では、経口造影剤を用いて、大腸内の残液や残便を標識し、病変と区別する方法が用いられている。
- 4) CTC における読影は、通常の axial 画像のほかにワークステーションで作成した volume rendering(VR)画像による注腸造影類似画像や仮想内視鏡

像(virtual endoscopy ; VE), 多断面変換表示画像(multi-planar reconstruction ; MPR)等の三次元画像を組み合わせることで隆起性病変や粘膜面の形態異常を確認していく。VR 画像や VE 画像は任意の角度から繰り返し観察可能であり, 病変の位置, 形状および大きさなどの全体像が把握しやすい。また, 内視鏡検査で見落としやすいとされる半月ひだの間や屈曲部に隠れた病変も容易に描出可能である。

- 5) 撮影は腹臥位および背臥位の二体位撮影を行う。

これは腸管内の残液を再分布させることで腸管描出不良部分を補完し盲点をなくすこと, 偽陽性の原因となる残便の可動性を確認することで除外診断できることなどから必須の手技である。

【選択問題 23】 術中 MRI について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]

- 1) 脳外科手術に用いられる。
- 2) 0.4 T に比べ 1.5 T の方が高画質である。
- 3) 撮影中は麻酔器を停止させる。
- 4) 手術終了前に手術部位の出血を確認できる。
- 5) 5 ガウスライン以内では磁性体材料を用いた手術器具は使用できない。

【正解】 (選 23) 3)

【解説】 術中 MRI は、主として脳外科手術に用いられ、たとえば神経膠腫(グリオーマ: glioma)の治療では、手術によってできるだけ多く摘出するほど再発率が低く予後も良いことが知られている。しかし、神経膠腫は正常な脳との境界がわかりにくい悪性脳腫瘍で、無理に摘出しようとするれば後遺症の恐れがある。逆に腫瘍を残しすぎれば、再発により生存率が低下してしまう。術中 MRI システムは、ナビゲーションシステムと併用し、手術中に MRI を撮像することで、リアルタイムに正確な位置情報や機能情報を得ることができる。腫瘍摘出の程度を正確に判断できる上に、運動機能・言語機能など、重要な機能を温存することができる。また、予期せぬ合併症をいち早く検出することもできる。

- 1) 脳外科手術に用いられることが多い。
- × 2) 術中 MRI には 0.4 T 低磁場型のオープンタイプが用いられるが、1.5 T の方が画質も優れており、拡散強調画像、神経路の描出などができる。しかし、低磁場の方が安全性も高く維持費も安いため、広く導入されている。
- 3) 麻酔装置や生命維持装置は磁性体を用いず、外部に電波を発生しない MR 検査専用のもを用いる。撮像中の ME 機器からの電気ノイズは画質に大きな影響を与える。特に共鳴周波数付近の RF 波は画像上にアーチファクトとして現れる。このため、生命維持装置など必要最小限の ME 機器のみとし、高調波を含む電波を発生させるパソコン等の機器は、すべてシールドケースに入れる。配線はすべてシールドを施し、光ファイバ伝送を用い

る。ME 機器もバッテリー起動が望ましいが、インバータから発生する電波が撮像時に影響することがある。

- × 4) 手術終了前に術野を閉じる前に MR 撮影を行うことにより、手術部位の出血を確認することができる。
- 5) 5 ガウスライン以内では磁性体材料を用いた手術器具は吸引されてしまうため、危険であり使用できない。5 ガウスラインより外側でも、1.5 T 以上では特に安全性の点から非磁性体材料を用いた手術器具を使用する。0.4 T の場合は 5 ガウスラインより MR 装置からの距離を離せば一般の手術器具も使用できるが、安全性の点からは非磁性体材料を用いた手術器具を使用した方が良い。

【選択問題 24】 除細動器の体外電極部の浮遊容量に含まれないのはどれか。番号を解答欄(選 24)にマークせよ。[6]

- 1) 片方の体外電極と除細動器本体の外装
- 2) 片方の体外電極と体外電極部のうち電極を除く部分
- 3) 片方の体外電極と信号入出力部
- 4) 片方の体外電極とモニタ電極部
- 5) 片方の体外電極と他方の体外電極

【正解】 (選 24) 5)

【解説】 浮遊容量とは、2本の電線間や電線と人体、機器と人体間に生じる静電容量のことを指し、静電気サージなどノイズ発生の原因となる。

体外電極部の浮遊容量は、「体外電極部の電極と、除細動器本体→選択肢 1)、モニタ電極部→選択肢 4)、体外電極部の電極を除く部分→選択肢 2)、及び信号入出力部→選択肢 3)との間の浮遊容量」として定められている。

【参考】

- ・ 第 1 種 ME 技術実力検定試験テキスト, p.174, 2015

【選択問題 25】 ハイパーサーミアのマイクロ波加温法について正しいのはどれか。番号を解答欄(選 25)にマークせよ。[6]

- a. 誘導加熱により発熱する。
- b. 使用周波数は ISM 帯域の 2,450 MHz である。
- c. 生体を 2 つのアプリケータで挟み加温する。
- d. 脂肪層より筋層の方が加温されやすい。
- e. 体内中心部まで加温できる。

- 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 25) 6)

【解説】 本問題は‘マイクロ波’によるハイパーサーミアの原理及び特徴についての出題である。加温周波数に関する知識、体組織のどの部位が加温しやすいかを比誘電率と結びつけて考えられるかに着目した出題である。

- × a. 誘電体にマイクロ波を印加し、誘電損失により発熱(摩擦熱)する。
- b. 世界共通で使用される周波数は 2450 MHz である。国際電気通信連合 (ITU)では、非通信用の ISM(産業科学医療用)バンドのマイクロ波で世界共通で加熱用に使用できる周波数として 2450 MHz に統一されている。その他の周波数としては、434 MHz 帯 (ITU 第 1 地区(欧州等)), 915 MHz 帯 (ITU 第 2 地区(米国等))等がある。国内でマイクロ波加温に使用されるおもな周波数は、430, 915, 2450 MHz である。
- × c. 単一のアプリケータからマイクロ波を生体に照射し発熱させる。
- d. 使用周波数帯での筋の比誘電率は脂肪の数倍であり、したがって筋層がより加温される。
- × e. 周波数が高いため生体内での減衰が大きく、皮膚表面から 6 cm 以内の浅在性腫瘍に適する。

43℃ 加温の目安は 430 MHz で 4 cm, 915 MHz で 3 cm, 2450 MHz で 2 cm 程度である。

小論文試験問題

肝移植を受けた成人患者が透析治療中に死亡する医療事故が発生した。警察は血液透析器の代わりに誤って血漿分離器を取り付けたとして、業務上過失致死容疑で医師と看護師を書類送検した。

これを受け、(1)当該病院、(2)医療機器メーカー、(3)関連学会はさまざまな方策を立て再発防止に努めた。(1)、(2)、(3)に分けて、それぞれの立場で取るべき対策を 800 文字以上 1000 文字以内で述べなさい。ただし、空白欄は文字数にカウントしないので注意すること。[30]

