

【問題1】 自動車が時速 54 km で走っているときに警笛を鳴らしたら、前方の山から 4 秒後にこだまが返ってきた。自動車の進む向きに風が 10 m/s の速さで吹いていたとし、音の速さを 340 m/s とした場合に、こだまが返ってきたときの自動車と山との距離[m]を有効数字 3 桁で解答欄 に記入せよ。[6]

【正解】 = 650 (m)

【解説】 音の反射に関する問題である。風が吹いているときの見かけの音の速さは、追い風の時は（音速＋風速）、向い風の時は（音速－風速）である。

求める距離を x (m) とすると、 $54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/s}$ であるから、

$$(x + 15 \times 4) / (340 + 10) + x / (340 - 10) = 4$$

これを解くと、 $x = 650$ (m) 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①にマークせよ。

[6]

- a. 地球に対し遠ざかりつつある星から来る光のスペクトル線の波長は、短く観測される。
- b. 振動数のわずかに異なる音を鳴らしたときにうなりが生じるのは、音の干渉による。
- c. 振動数 1000 Hz の純音で人が聞き取れる最小の音圧を 0 ホン[phon]と定義する。
- d. 山の陰にある家に、テレビの電波に比べてラジオの電波が届きやすいのは、波の回折によるものである。
- e. 凸レンズで光の収差が観察されるのは、偏光によるものである。

- 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】 ① = 4)

【解説】 波の性質に関する問題である。本文におけるそれぞれの事項について正しいかどうかをしてみる。

× a. ドプラ効果により、地球に対して遠ざかりつつある星から来る光のスペクトル線の周波数は低く観測されるはずである。したがって、波長は長く観測されることになる。

○ b.

○ c.

○ d.

× e. 光の屈折率は波長により異なるため、色収差を生じる。したがって、正解は、屈折率が光の波長によって異なるためである。

【問題3】 血液の pH は通常次式から求められる。

$$\text{pH} = 6.1 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{0.03 P_{\text{aCO}_2}}$$

3-1 この式は通常何の式と呼ばれているか。番号を解答欄 にマークせよ。[3]

- 1) Henderson-Hasselbalch の式
- 2) Van't Hoff の式
- 3) Arrhenius の式
- 4) Lewis の式
- 5) Ostwald の式

3-2 いまある人の P_{aCO_2} が 28 mmHg, $[\text{HCO}_3^-]$ が 14 mEq/l だったとすると、この人の血液の pH はおよそいくらか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、 $\log 2$, $\log 3$ はそれぞれ 0.30, 0.48 とする。[3]

- 1) 4.88 2) 7.32 3) 7.62 4) 7.80 5) 8.91

【正解】 ② = 1) ③ = 2)

3-1 酸塩基平衡を中心とした物理化学に関連した式が列挙されている。

- 1) 生体にはヘモグロビンやリン酸緩衝系などの種々の緩衝系があるが、血漿の pH は重炭酸-炭酸緩衝系が支配的で、問題で与えられた Henderson Hasselbalch の式で表される。
- × 2) 浸透圧と溶液中の分子数との関係を表す式
- × 3) 電解質の解離度とモル伝導率の関係を表す式
- × 4) 電子供与体が塩基、受容体が酸であることを示す酸塩基平衡に関連した式
- × 5) 気体の溶解度に関連する式

3-2 上式に代入して求める。

$$\text{pH} = 6.1 + \log \frac{14}{0.03 \times 28} = 7.32$$

ダイアライザを通過する際の溶質の除去効率を示している。

【問題4】 粘性率 μ ，密度 ρ の流体が，平均速度 v で直径 D の円管を流れているとき，レイノルズ数 Re は， $Re = \rho \cdot D \cdot v / \mu$ で表すことができる。

4-1 粘性率 μ の単位として正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[3]

- 1) Pa 2) Pa·s 3) Pa·m 4) Pa/s 5) Pa/M

4-2 レイノルズ数の式の分子： $\rho \cdot D \cdot v$ の単位を，SI 基本単位の kg，m，s を使って表すと，どうなるか解答欄 に記入せよ。[3]

4-3 次のうち流れが乱流になる最も小さいレイノルズ数はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[2]

- 1) 30 2) 150 3) 800 4) 2500 5) 5000

[正解] ④ = 2) ③ = kg/(m·s) ⑤ = 4)

[解説] 流れを決定する条件は、本質的には流れの持つ粘性の影響が及ぶ範囲の大きさである。流れの中に物体がおかれた状態を考え、 $Re = \rho \cdot D \cdot v / \mu$ を粘性流体特有の数値（レイノルズ数）として与える。 D は物体を代表する長さで、例えば、流体の流れに平行においた平板では流れ方向の長さとなり、円管を流れる場合には管の直径となる。

Re は無次元（単位のない数値）であり、上式の分母と分子は同じ次元をもつ。それらは同じ意味を持つ物理量であり、 Re はその比を示している。この考え方で数 Re を表すと、

$Re = \text{流体の慣性力} / \text{粘性力}$ あるいは $Re = \text{流体の荒々しさ} / \text{流体を押し留める力}$

と言い換えることもできる。

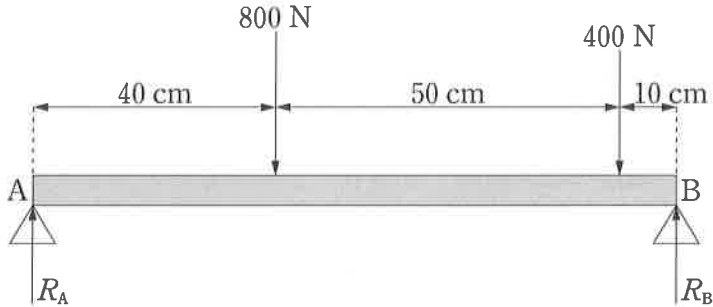
Re が大きくなると流体は乱流になり、逆に Re が小さければ流れは穏やかな層流となる。層流と乱流の境界となる Re は臨界レイノルズ数 (Rec) とよばれ、実際の値はおよそ 2000~3000 である。生体内の血流のレイノルズ数は血管系に異常がなければ、大動脈起始部を除いて他のどの部位においても Rec を超えず血液の流れは一般に層流と見なすことができる。

レイノルズ数は流れの相似性を与える数値でもあり、形状が相似であり、レイノルズ数が等しければ、流体の振る舞い（流線の位置など）も相似的になる。

4-1, 4-2: 粘性率の単位は $Pa \cdot s$ であるが、分子である $\rho \cdot D \cdot v$ と同じ単位を持つことからこれを利用して計算できる。 ρ は密度であり、 kg/m^3 , D は長さ m , v は速度 m/s の単位を持つので、レイノルズ数を表す式の分子は $kg/m^3 \times m \times m/s$ となり、これを計算すれば、 $kg/(m \cdot s)$ となる。

ところで、 Pa は圧力の単位で N/m^2 すなわち力/面積であり、力は質量×加速度、 $kg \cdot m/s^2$ となるので、 Pa の単位は $kg \cdot (m/s^2) / m^2 = kg/(m \cdot s^2)$ となる。分子の単位と一致させるためには $kg/(m \cdot s) = Pa \times s$ が成立する。従って分母である粘性率の単位は $Pa \cdot s$ となる。

【問題5】 剛体の単純支持梁(はり)に、図のように 400 N と 800 N の力が加わったとする。以下の設問に答えよ。ただし、梁の重量は無視する。



5-1 支点 A および B に生じる反力 R_A と R_B の和は何 N になるか。解答欄 に記入せよ。[3]

5-2 支点 A に生じる反力 R_A は何 N になるか。解答欄 に記入せよ。
[3]

【正解】 ㉔=1200 N ㉕=520 N

【解説】

5-1

図は 800 N と 400 N の 2 つの荷重が A, B の両端で支えた単純支持梁に加わっている状態である。この荷重に対して、梁の両端の点 A, B では反力 R_A と R_B が生じる。このとき梁は静止しているから、梁の重量を無視すれば荷重の合計と反力の合計は等しい。

したがって、反力の合計=荷重の合計=800 N+400 N=1200 N である。

5-2

反力 R_A を求めるためには、点 B を中心にして回転させようとする曲げモーメントのバランスを考える。梁を反時計回りに回転させようとする曲げモーメントを生じる力は 800 N と 400 N の荷重であり、逆に時計回りに回転させようとする曲げモーメントを生じる力は R_A である。それぞれの曲げモーメントは (力) × (支点から力が加わっている部分までの長さ) で表されるから、

$$1) \text{ 反時計方向の曲げモーメント} = 800 \text{ N} \times 0.6 \text{ m} + 400 \text{ N} \times 0.1 \text{ m}$$

$$2) \text{ 時計方向の曲げモーメント} = R_A \times 1 \text{ m} \text{ である。}$$

梁は荷重が加わった状態で回転することなく静止していることは、この 1) と 2) の曲げモーメントがつりあっていることになるので、

$$800 \text{ N} \times 0.6 \text{ m} + 400 \text{ N} \times 0.1 \text{ m} = R_A \times 1 \text{ m} \text{ である。}$$

したがって、この式から $R_A = 520 \text{ N}$ となる。

【問題 6】 熱機関の熱効率 E は、

$$E = \frac{\text{熱機関から外に向かってなす仕事}}{\text{高熱源から供給された熱エネルギー}}$$

として定義されている。また、高熱源から Q_1 の熱量を等温膨張として受け取り、 W の仕事をする熱機関が低熱源に Q_2 の熱量を等温圧縮として排出したとすると、エネルギー保存則から

$$Q_1 = Q_2 + W$$

の式が成立する。熱の移動が温度差によることを考慮して、高熱源を 100°C (373 K)、低熱源を 0°C (273 K) として働く熱機関の効率の上限を求めると何%になるか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 99
- 2) 64
- 3) 48
- 4) 27
- 5) 3

[正解] ⑥ = 4)

[解説] 熱エネルギーを獲得するために、高温の熱源と低温の熱源を用意する。仕事はシリンダとピストンにより行い、シリンダは熱源からの熱をよく通すものとする。これ以外の要素は理想的な断熱体として熱の移動がないものとする。

いま、シリンダを高熱源（温度 T_1 ）に接触させ、温度 T_1 を一定に保った状態で膨張させると、シリンダ内の気体は熱源から熱 Q_1 を吸収する。この過程では、体積の増加分と内圧の積だけ外部に仕事をする。次にシリンダを高熱源からはなすと気体は膨張を続けるが、断熱状態では気体の膨張により温度が低下する。シリンダの温度が低熱源の温度 T_2 まで下がった時点でシリンダを低熱源（温度 T_2 ）に接触させ、温度を T_2 に保ちながらピストンを押して気体を圧縮すると、気体は低熱源に熱 Q_2 を放出する。この後、ピストンを低熱源から離して断熱状態にしてさらに気体を圧縮し温度を T_1 まで上昇させる。シリンダを再び高熱源に接触させ同様のサイクルを繰り返す。このサイクルをカルノーサイクルという。

カルノーサイクルは理想的な熱機関であり熱の利用効率が最大であるため、これより効率の高い熱機関は存在できない。カルノーサイクルでは $W = Q_1 - Q_2$ が成立する。

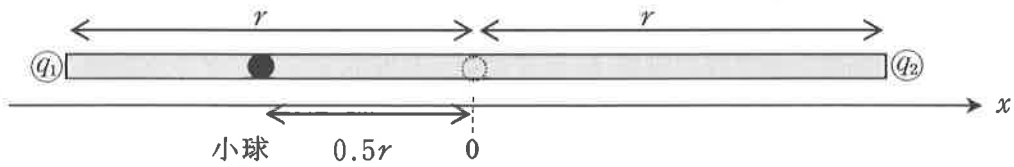
機関の効率 η は吸収した熱エネルギー Q_1 に対する仕事 W で示されるので、
 $\eta = W / Q_1 = (Q_1 - Q_2) / Q_1 = 1 - (Q_2 / Q_1)$ となる。

熱源の温度を絶対温度（ケルビン）で与えたとき、理想的な状態ではエネルギー比 Q_2 / Q_1 は熱源の温度比 T_2 / T_1 となるので、設問の条件で効率を計算すると
 効率 $= 1 - T_2 / T_1 = 1 - 273 / 373 = 0.286 = 27\%$
 が得られる。

【問題7】 図に示すように、質量0の帯電していない小球が x 軸に沿った細い溝の原点($x=0$)にある。原点を中心に左右に距離が r だけ離れた点に正電荷 q_1 、 q_2 を配置した。

いま、小球に正電荷 q を帯電させたところ、小球は左に $0.5r$ の点まで移動して静止した。正電荷 q_1 、 q_2 の比 $\frac{q_1}{q_2}$ はいくらか。番号を解答欄 に記入せよ。

[6]



- 1) $\frac{1}{9}$
- 2) $\frac{1}{5}$
- 3) $\frac{1}{3}$
- 4) $\frac{1}{2}$
- 5) 1

【正解】⑤ = 1)あるいは1/9

【解説】電荷 q_1 , q_2 から小球までの距離をそれぞれ l_1 , l_2 とすると, $l_1 = 0.5 r$, $l_2 = 1.5 r$ となります。

電荷 q_1 , q_2 による小球へ働く力をそれぞれ f_1 , f_2 としますと,

$$f_1 = a \frac{q \cdot q_1}{l_1^2} = a \frac{q \cdot q_1}{0.25 r^2} \quad (1)$$

$$f_2 = a \frac{q \cdot q_2}{l_2^2} = a \frac{q \cdot q_2}{2.25 r^2} \quad (2)$$

となります。ここで, a は比例定数です。

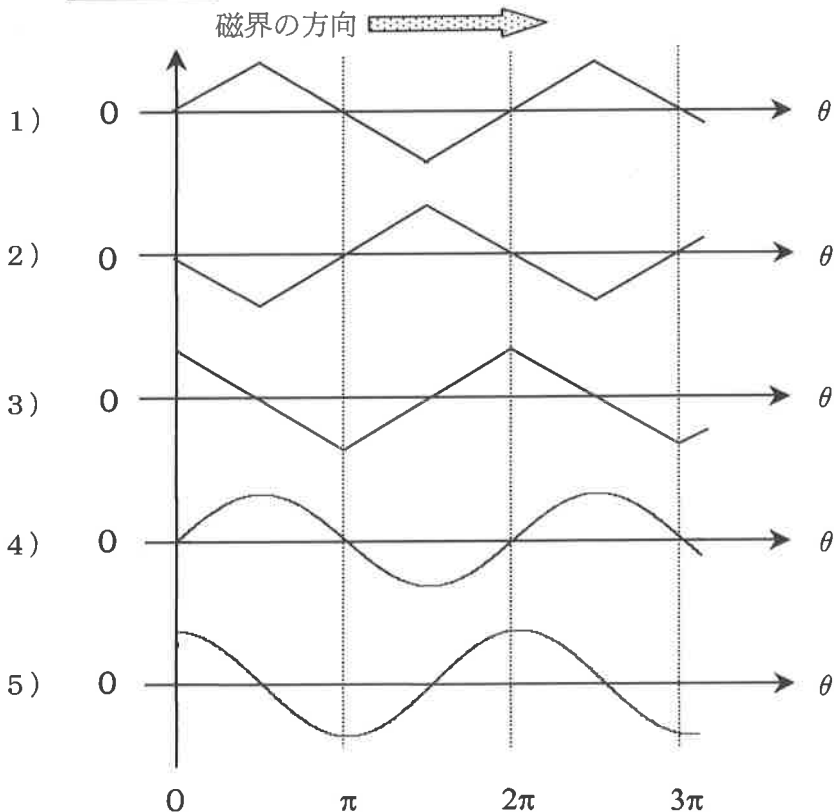
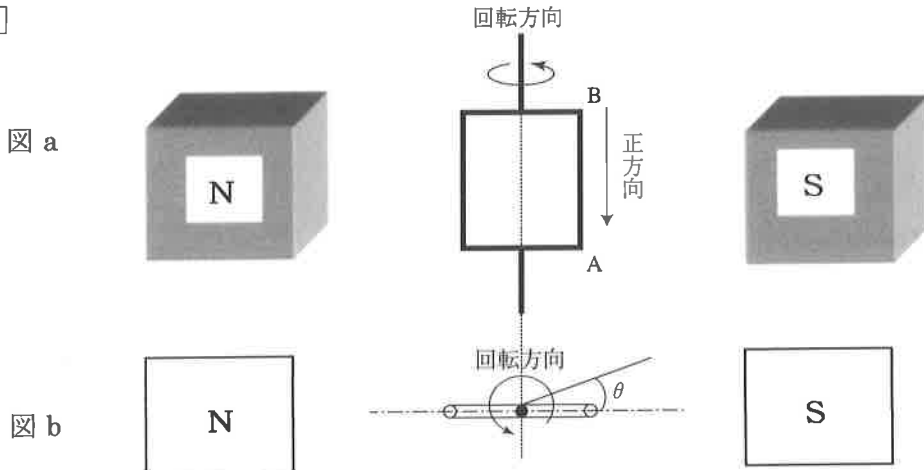
小球は静止していますので $f_1 = f_2$ となります。

(1) 式と (2) 式より $\frac{q_1}{q_2} = \frac{1}{9}$ となります。

(1), (2) 式による力の大きさは距離 r の2乗に反比例することに注意すること。

【問題 8】 図 a のように一様磁界方向と平行($\theta=0$)に置かれている四角形のコイルを一定速度で矢印の方向に回転させた。コイルの AB 間に流れる電流波形はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、図中の B 点から A 点に向かう(矢印)方向を電流の正方向とする。図 b は図 a を上から見た図である。

[6]



[正解] ⑦ = 5)

[解説] コイルの鎖交磁束の変化に比例して逆起電力 v が生じます。その逆起電力によりコイルに電流が流れ磁界が生じます。この磁界の方向は鎖交磁束の変化を妨げる方向です。

コイルは一様磁界の中に存在しているわけですから鎖交磁束はコイル面積の磁界に直角の成分です。コイルの面積を S 、一様磁束密度を B とすると、問題図に示すように磁界の方向に θ だけ傾いたコイルの鎖交磁束は $SB\sin\theta$ となります。

$$\text{逆起電力 } v = -SBd(\sin\theta)/dt = -SB\cos\theta \quad (1)$$

ここで、コイルは一定速度で回転しているので一定角速度を ω とすると t 時間経過後コイルは $\omega t = \theta$ だけ回転する。

この値を (1) に代入しますと

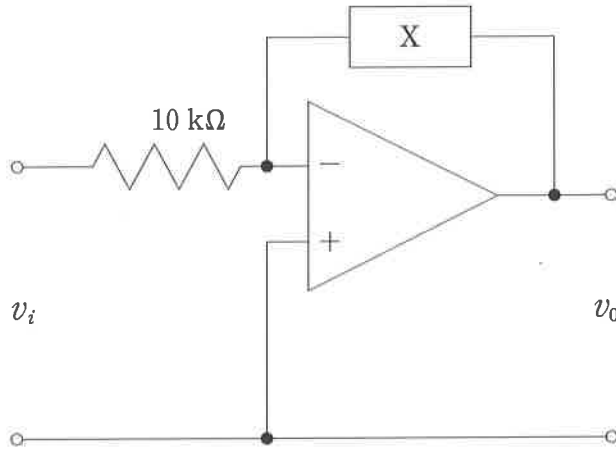
$$v = -SBd(\sin\theta)/dt = -\omega SB\cos\omega t$$

となり、電流は矢印の方向に $\cos\omega t$ に比例して流れることとなります。

[別解]

上記の解答ですと電流方向を決定するのが難しくなります。そこで、次のような考え方をします。コイルは $\sin\omega t$ で回転することは同じです。コイルが回転を始めますと鎖交磁束が増加します。コイルには鎖交磁束の増加を妨げる方向の現象が起こります。言い換えますと今までの状態を保とうとする現象が起こります。コイルに電流が流れ鎖交磁束の増加を妨げる方向に磁界が生じます。すなわち、外部磁界の方向と逆向きの方向の磁界を生じる方向に電流が流れることとなります。電流の方向は正の方向に流れることとなります。この現象はコイルの位置に関係なく起きます。コイルが磁界に対し 90 度以上に回転しますと鎖交磁束が減少し始めるわけですから、鎖交磁束を増加させる方向に電流が流れるようになります。すなわち電流方向は逆転します。さらに、270 度以上回転しますと鎖交磁束が増加し始めるため、電流の向きがまた逆転し鎖交磁束を減少させる方向に磁界が生じ始めます。360 度で最初の状態に戻ります。電流の方向と磁界の方向との関係はフレミングの法則あるいは右ねじの法則でもとめればよいわけです。

【問題 9】 増幅度約 20 dB，高域遮断周波数約 160 Hz の反転増幅器をオペアンプを用いて作りたい。図の \boxed{X} に当てはまる回路を 2 つの素子で構成し，回路図および素子の値を解答欄 $\boxed{\text{ア}}$ に記入せよ。[6]



【正解】 抵抗 $100 \text{ k}\Omega$ とコンデンサ $0.01 \mu\text{F}$ の並列接続の回路図で示す。

【解説】 オペアンプによる反転増幅器の増幅度 G は，増幅度が 10 倍程度の低い範囲にある場合，入力インピーダンス $Z_i (=10 \text{ k}\Omega)$ と帰還インピーダンス $Z_f (=X)$ のみにより， $G = |Z_f/Z_i|$ とほぼ決まる。 Z_i は純抵抗なので周波数依存性は無く， Z_f のほうに特定の周波数 ($=160 \text{ Hz}$) を越えるとインピーダンスが低下する要素が必要になる。これは時定数 $\tau = (2\pi \times 160)^{-1} \text{ s} = 1 \text{ ms}$ の RC 並列回路で実現でき，直流付近の増幅度が 10 倍 (20 dB) のことから，抵抗の値は $100 \text{ k}\Omega$ でなければならない。この抵抗値と組み合わせて 1 ms の時定数となるコンデンサの値は，容易に $0.01 \mu\text{F}$ と求められる。

【問題10】 同一のオペアンプを使った図1および図2の R_1 , R_2 がいずれも $10\text{ k}\Omega$ のとき, 正しい説明はどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 両回路の電圧増幅度は等しい。
- b. 入力インピーダンスは図1の方が大きい。
- c. 両回路とも入出力の電圧波形は位相が反転している。
- d. 両回路の出力インピーダンスはほぼ等しい。
- e. 直流に近づくほど電圧増幅度は図2の回路の方が大きくなる。

- 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

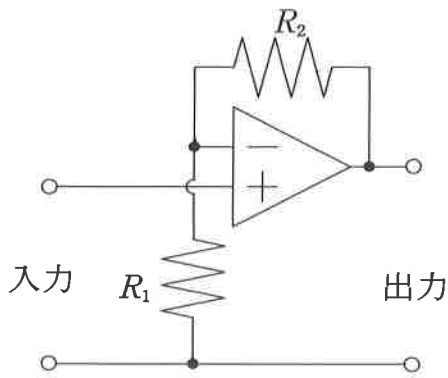


図1

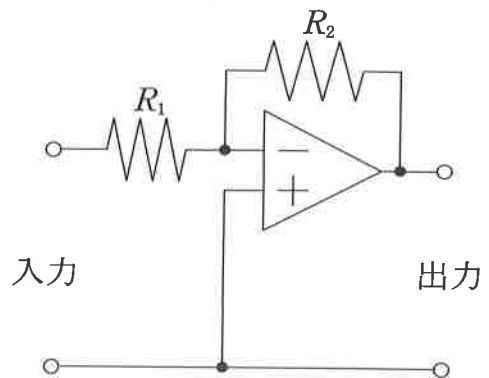


図2

【正解】 ⑧ = 6)

【解説】 演算増幅器を用いた増幅回路で、非反転増幅器と反転増幅器に関する特徴を問う問題である。

- × a. 増幅率を表す式が、図1の非反転増幅器では $(1 + R_2/R_1)$ で、図2の反転増幅器では (R_2/R_1) である。 R_1, R_2 共に $10\text{ k}\Omega$ であるから、これを代入して計算すると、図1は2倍、図2は1倍となる。
- b.
- × c. 図1は非反転増幅器であるから、入力と出力の電圧波形は同位相である。
- d. 両回路とも演算増幅器の出力インピーダンスとなるから、非常に小さく同一と見なして良い。
- × e. カットオフ周波数側では、直流に至るまで増幅率はほとんど一定である。

【問題 11】 金属を導電率の大きい順に並べた。正しいのはどれか。番号を解答欄

にマークせよ。[6]

1) 銅 > アルミニウム > 銀 > 金

2) 銅 > 金 > アルミニウム > 銀

3) アルミニウム > 銅 > 金 > 銀

4) 金 > 銀 > 銅 > アルミニウム

5) 銀 > 銅 > 金 > アルミニウム

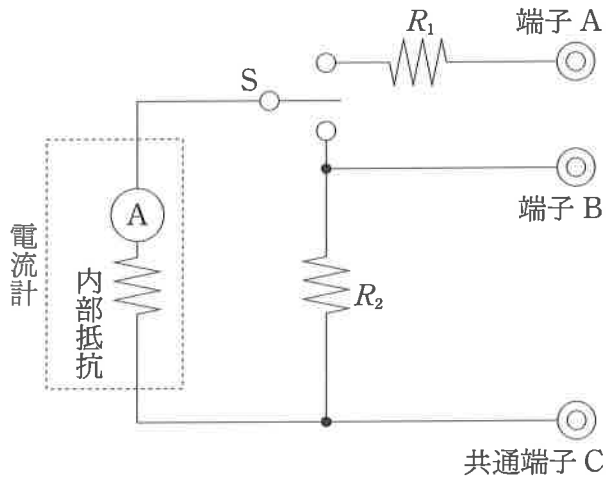
【正解】 ⑨ = 5)

【解説】 問題で取り上げた 4 種類の金属を、導電率の大きい方から並べると、銀、銅、金、アルミニウムである。従って、正解は 5) となる。

【問題 12】 下図に示す最大目盛り 10 mA、内部抵抗 $5\ \Omega$ の電流計を用い、スイッチ S を切り替えてフルスケール 10 V の電圧計と 0.1 A の電流計として使用するには、 R_1 、 R_2 の値をそれぞれ何 Ω にすればよいか(小数点第 2 位まで)。解答欄 ， に記入せよ。[$3 \times 2 = 6$]

$R_1 =$ Ω

$R_2 =$ Ω



【正解】 ㉞ $=1.0 \times 10^3$ ㉟ $=5.6 \times 10^1$

【解説】

倍率器と分流器の問題

1) 電圧測定時 $10 \times 10^{-3} \text{A} (5 \Omega + R_1) = 10 \text{V}$ より
 $0.005 + 0.001 R_1 = 1$
 $0.001 R_1 = 0.995$
 $R_1 = 995 \Omega$
したがって $R_1 = 1.0 \times 10^3$

2) 電流測定時 $R_2 \times (1 \times 10^{-1} - 10 \times 10^{-3} \text{A}) = 5 \Omega \times 10 \times 10^{-3} \text{A}$ より
 $0.09 R_2 = 0.05$
 $R_2 \div 0.56$
したがって $R_2 \div 5.6 \times 10^1$

【問題 13】 無線通信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. 小電力医用テレメータには、420～450 MHz の範囲にある 6 つのバンドが割り当てられている。
- b. FSK 変調方式は、アナログ変調方式の一種である。
- c. 垂直接地アンテナの長さは、使用電波の 1/4 波長である。
- d. 空間ダイバーシティ方式とは、アンテナの角度と方向を自動調整して安定した受信を確保する方式である。
- e. 見通しのきかない所に電波が届くのは、透過、反射、および回折による。

- 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】

- a. この範囲に、アマチュア無線帯をはさんで、6 つのバンドが割り当てられている。
- × b. FSK は Frequency Shift Keying の略で、2 値信号の 0, 1 に対応して瞬時周波数を変化させるデジタル変調方式である。
- c. 大地が仮想的に一方の 1/4 波長イメージアンテナの役割を果たし、全体として 1/2 波長ダイポールアンテナとして動作する。
- × d. 位置が異なる 2 本のアンテナを使い安定な受信を確保するのが空間ダイバーシティ方式である。
- e. 逆に電波を遮断するためにはそれぞれを防ぐ必要がある。

【問題 14】 通信用ケーブル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. ツイストペアケーブルは別のペア線からの漏話による影響を軽減できる。
- b. ツイストペアケーブルを 100 Mbps の LAN で使用する場合は数mの範囲に限られる。
- c. 同軸ケーブルでは周波数が高くなると伝送信号が急激に減衰する。
- d. マルチモード光ファイバではコアに入った光がクラッドとの境界で全反射しながら伝播する。
- e. シングルモードファイバはマルチモードより近距離間の低速伝送に適している。

- 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】 ⑪ = 7)

- a. 1つの信号線から他の信号線への干渉を漏話という。平行線では干渉をうけやすい。
- × b. 通常は数 10 m の範囲で問題なく使用できる。安価な LAN ケーブルとして広く使われている。
- c. 銅の電気的特性によって、周波数が高くなると急激に減衰する。
- d. マルチモード光ファイバでは、複数の反射角(伝搬経路)をもった光(それぞれをモードと呼ぶ)を1つのケーブル内部で反射して信号を送る。
- × e. 逆である。シングルモード光ファイバでは1つの反射角の光だけを利用しているため、長距離間の高速伝送に適している。

【問題 15】 インターネット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. ドメイン名は IP アドレスに対応している。
- b. URL は、インターネット上に存在する情報の場所やアクセス方法を示す表記である。
- c. SMTP, POP, IMAP は、ファイル転送制御に使われるプロトコルである。
- d. MIME は、電子メールにおいてさまざまなデータをテキストに変換して送るための規格である。
- e. DHCP は、経路情報制御(ルーティング)に使われるプロトコルである。

- 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】 ⑫ = 9)

【解説】

- a. ドメイン名は、インターネット上にあるコンピュータに付けられた親しみやすく覚えやすい名前であり、ユニークな IP アドレスに対応づけられる。
- b. URL は Uniform Resource Locator のことであり、インターネット上に存在するドキュメントやリソース等の一意のアドレスのことで、プロトコル名、サーバーのドメイン名、ドキュメントのパス名で構成される。
- × c. SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) は、メールを送信するためのプロトコルのこと。POP (Post Office Protocol) は、メールを保管しているサーバーから、その内容を読み出すためのプロトコルのこと。IMAP (Internet Message Access Protocol) は、メールシステムにおいて、メールを読み出すためのプロトコルのことであり、いずれもファイル転送制御に使われるプロトコルではない。
- d. MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) は、日本語など非 ASCII で表現される言語、音声、画像、動画等のファイルをメールで扱うための、ASCII 文字列へのエンコード方式の規格である。
- × e. DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) は、インターネットに一時的に接続するコンピュータに、IP アドレスなど必要な情報を自動的に割り当てるプロトコルであり、経路情報制御 (ルーティング) に使われるプロトコルではない。

【問題 16】 現在広く普及している IP アドレスの登録規格 (IPv 4) では、8 ビットずつ 4 つに区切られた数値が使われており、「192.168.12.102」などのように、0 から 255 までの 10 進数の数字を 4 つ並べて表現している。

IPv 4 を使うと世界で幾つの IP アドレスを登録することができるか、次の中から最も近い最大登録数を選び、番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 10 億
- 2) 20 億
- 3) 30 億
- 4) 40 億
- 5) 50 億

【正解】 ⑬ = 4)

【解説】 IPv 4 は 8 ビットずつ 4 つに区切られた数値であることから、32 ビット (= 8 ビット × 4) における 0, 1 の組み合わせが可能となる。
したがって、 $2^{32} = 4,294,967,296 = \text{約 } 43 \text{ 億}$ となる。

【問題 17】 誤っているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) DICOM は医療に用いられるデジタル画像フォーマットである。
- 2) PACS は医用画像蓄積のための情報システムである。
- 3) HL 7 は ISO-OSI のネットワーク層に当たるプロトコルである。
- 4) MML(Medical Markup Language) は電子カルテに適した言語である。
- 5) PubMed は医療文献検索システムである。

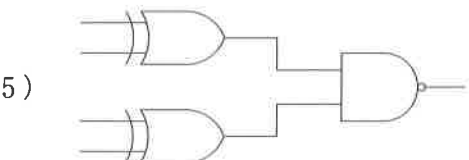
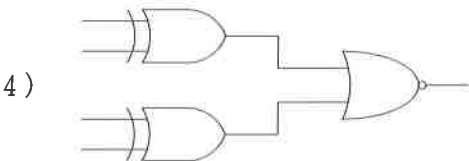
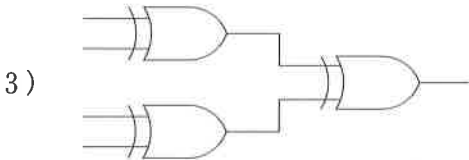
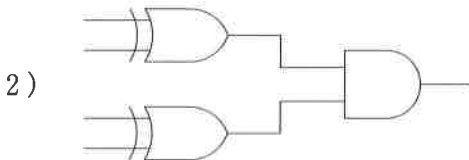
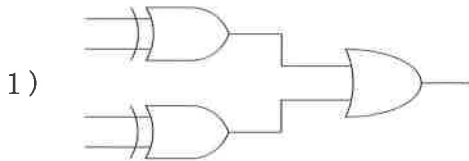
【正解】 ⑭ = 3)

【解説】 医療情報に関する問題である。

- 1) ○ DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) 医用画像の標準規格で、米国放射線学会 (ACR) と北米電子機器工業会 (NEMA) が開発した医用画像と通信の標準規格である。我が国でも医用画像機器の業者団体である日本放射線機器工業会 (JIRA) で標準規格として採用されている。
- 2) ○ PACS (Picture Archive and Communication System) は放射線画像などの通信のためのネットワークの規格
- 3) × HL 7 は医療情報交換のためのデータ形式 Health Level 7 (通信規約) のことで OSI 参照モデルのような階層構造を持ち 3 文字に識別枝で始まるメッセージ交換規約で 20 カ国で共通の情報交換形式
- 4) ○ MML (Medical Markup Language) は医療のための Markup Language である。参考: WWW サービスを行うホームページも Markup Language で構成される。
- 5) ○ PubMed は医学文献の検索に用いられる Medline と同等機能をインターネット用に開発されたもの。

【問題 18】 図の組合わせ論理回路で、4 入力のうち “1” の入力がある個数のときだけ出力が “1” となる回路はどれか。解答欄 (15) にマークせよ。

ただし、組合わせ論理回路で使われている各素子の図記号は以下のとおりとする。[6]



【正解】⑮=3)

【解説】4入力をA, B, C, Dとすると, 3)の回路の出力についての真理値表は, 以下のようになる。パリティチェック(偶奇)検査回路である。

A	B	C	D	出力
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	1
0	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	1
1	1	0	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	1
1	1	1	1	0

【問題 19】 日本の EMC 規格である JIS T 0601-1-2 では、一般の医用電気機器の放射無線周波電磁界に対するイミュニティの許容値は 3 V/m となっているが、これは最大出力 0.8 W の PDC 携帯電話端末からどの位の距離を離れたときの電界強度に相当するか。番号を解答欄 ⑩ にマークせよ。ここで、携帯電話端末のアンテナを理想的な半波長ダイポールアンテナとし、放射する電波の電界成分 $E[\text{V/m}]$ は、 $E=7\sqrt{P}/r$ で与えられるものとする。ただし、 $P[\text{W}]$ は携帯電話出力、 $r[\text{m}]$ はアンテナからの距離である。[6]

- 1) 10 cm
- 2) 50 cm
- 3) 2 m
- 4) 5 m
- 5) 10 m

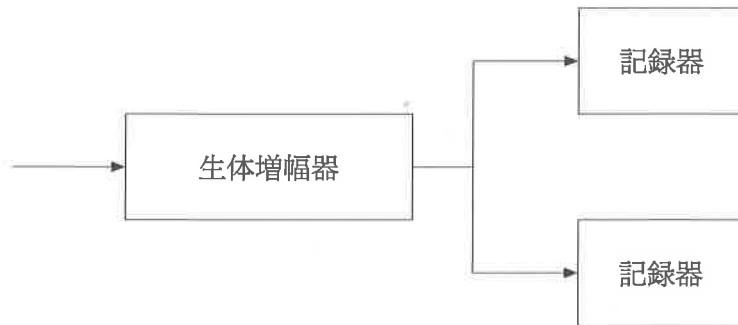
【正解】 ⑩ = 3)

【解説】 放射する電波の電界成分 $E[\text{V/m}]$ を求める式 $E=7\sqrt{P}/r$ に、電界強度 $E=3 \text{ V/m}$ と携帯電話の最大出力 $P=0.8 \text{ W}$ の値を入れて、 r を求めればよい。これを計算すると $r \approx 2.1 \text{ m}$ となる。

JIS T 0601-1-2 の第 2 版が平成 18 年 3 月に制定される予定であるが、これには一般の医用電気機器の放射無線周波電磁界に対する許容値 3 V/m のほかに、生命維持装置の放射無線周波電磁界に対する許容値として 10 V/m が規定されている。この場合、式 $E=7\sqrt{P}/r$ に、電界強度 $E=10 \text{ V/m}$ と携帯電話の最大出力 $P=0.8 \text{ W}$ の値を入れ、 r を求めると $r \approx 0.63 \text{ m}$ となる。

【問題 20】 図のような、生体増幅器の出力を 2 台の記録器で受けて記録する直並列システムを構成した。全く記録が取れない確率はいくらか。有効数字 3 桁で解答欄 に記入せよ。ただし、すべての機器の信頼度は 0.900 とする。

[6]



【正解】 $\textcircled{H}=0.109$

【解説】 直並列システムの「総合信頼度」の計算は良く出る問題であるが、今回は「故障度（故障率）」の問題である。

「記録が取れない確率」とは「故障する確率」のこと、すなわち「故障度（故障率）」のことである。この問題を解くに当たって、信頼度（故障しない確率） R と故障度（故障する確率） F の関係を知らなければならない。「故障する確率」と「故障しない確率」の和は当然ながら1(100%)である。よって、故障度 F と信頼度 R の間には、 $F=1-R$ の関係があることがわかる。

今、生体増幅器の信頼度を R_1 、2台の記録器の信頼度をそれぞれ R_2 、 R_3 とすると、2台の記録器を並列運転する信頼度は、 $(R_2+R_3)-R_2 \cdot R_3$ である。これと生体増幅器は直列運転であるから、全体の信頼度 R は次式で表わせることになる。

$$R=R_1 \cdot \{(R_2+R_3)-R_2 \cdot R_3\}$$

これが「記録が取れる確率」であるので、「記録がとれない確率」は、 $F=1-R$ となる。

以上の式に $R_1=R_2=R_3=0.999$ を代入すると、

$$R=0.900 \times (1.800-0.810)=0.900 \times 0.990=0.891$$

$$F=1-0.891=0.109$$

と計算できる。

なお、 R_2 と R_3 の並列信頼度は、故障度 F_2 、 F_3 から求められることを示しておこう。

並列にすれば、故障の確率は下がる（信頼度が上がる）わけで、2つが同時に故障する故障度 F は、 $F=F_2 \times F_3$ となる。これを信頼度に置き換えると、 $1-R=(1-R_2) \cdot (1-R_3)=1-(R_1+R_2)+R_1 \cdot R_2$ となり、両辺を整理すると、 $R=(R_1+R_2)-R_1 \cdot R_2$ となる。

【問題 21】 医療機器・システムの人間工学的配慮の中で「デッドマンシステム」に相当するものはどれか。番号を解答欄 ⑰ に記入せよ。〔6〕

- 1) 患者の心拍数が上限設定を超えたので心電図モニタのアラームを発報した。
- 2) 大動脈バルーンポンプに停電用のバッテリーを搭載した。
- 3) 対極板がコネクタから抜けた時に出力を停止する機構を電気メスに内蔵した。
- 4) 観血式血圧モニタに自社の絶縁型のトランスデューサのみが接続できる特殊コネクタをつけた。
- 5) X線透視システムの管球部を手動で降下中、可動操作ボタンから指を離したらその位置で停止した。

【正解】 ⑰ = 5)

【解説】 「デッドマンシステム」とは「“Deadman” (死人) には操作できないシステム」ということで、「操作具を操作しつづけないと動かないシステム」のことである。

- × 1) アラームシステム (アラームによって危険を報知するシステム)
- × 2) 商用電源と非常用バッテリーの二重システム
- × 3) ファイルセーフシステム (故障・事故が起きたときに、機器の停止などのもっとも安全な状態に自動的に導くシステム)
- × 4) フールプルーフシステム (コネクタの互換性をなくすことなどによって、操作間違いを起し得ないようにするシステム)
- 5) 操作ボタンを離すと止まってしまい、それ以上患者さんを圧迫することがないようにするシステムであるからデッドマンシステムである。

【問題 22】 耐除細動形の BF 形装着部の図記号を解答欄 に記入せよ。

[6]

[正解]



【解説】 正解図のとおりであるが、人型を四角形で囲った BF 形装着部の図記号の両側に、除細動器のパドル（通電電極）のシンボルを書き込んだ形をしている。

ちなみに、B 形装着部、CF 形装着部の図記号も同様に、両側にパドルマークをつけたものは、それぞれ、耐除細動形の B 形装着部、耐除細動形の CF 形装着部の図記号として定められている。

なお、耐除細動形装着部（DEFIBRILLATION-PROOF APPLIED PART）とは「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」と定義されている。

【問題 23】 ストレスを軽減して機器や部品の信頼性を高めることをディレーティング(derating)という。これに当てはまるものはどれか。番号を解答欄

⑩にマークせよ。[6]

- a. 故障しやすい箇所に予備の回路を設けた。
- b. 電力を 1 W 消費する抵抗器に, 定格 5 W の抵抗器を用いた。
- c. 電源に 2 重絶縁トランスを用いた。
- d. 定格 100 VA(100 V 用)の機器に, 定格 10 A のヒューズを用いた。
- e. 定格電圧 5 V の表示ランプを 4.5 V で使用した。

- 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】⑩＝7)

【解説】JIS Z 8115：2000では、ディレーティングについて「アイテムのストレス比の低減，信頼性を改善するために，計画的にストレスを計画値から軽減する行為」と定義している。

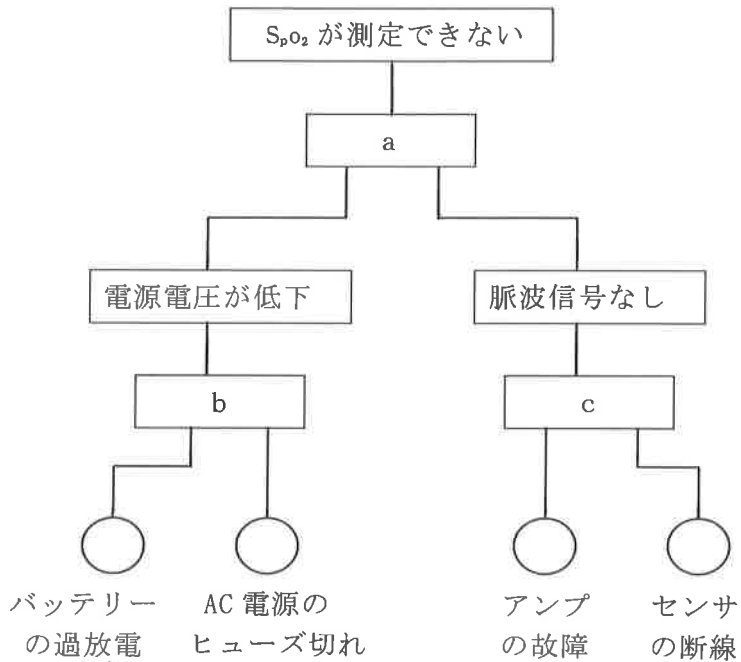
部品の温度が10°C上昇すると部品の故障率は2倍となることや，白熱電球の印加電圧を10%下げると寿命が2倍となるなどの経験則が知られている。

実際に機器の設計では，電力用半導体は消費される電力よりも十分に余裕のある定格のものが使用される。また，玄関灯のように使用頻度が高くすぐ電球が切れてしまうような時，100 Vではなく110 V用の電球に変えることが行われる。

この意味から問題を見ると

- × a) 予備回路を設けると信頼性は増すが，この対策は「冗長」であり間違い。
- b) 実際の消費電力の5倍の耐力の抵抗器を用いると，発熱温度も下がり信頼性が向上する。これはディレーティングであり正解である。
- × c) 2重絶縁トランスは，基礎絶縁が不良となっても補強絶縁で安全を保つものであり，「冗長」の一種で間違い。
- × d) 100 Vで100 VAなので1 Aの電流が流れる。ここに10 Aのヒューズを用いるとヒューズは切れなくなるが，ヒューズの使用目的から逸脱した誤使用の問題であり，間違い。
- e) 簡単にかつ効果的に電球の寿命を延ばすことができる優れたディレーティング手法であり，正解である。

【問題 24】 AC 駆動可能な充電式バッテリーを内蔵しているパルスオキシメータで、 S_{pO_2} が測定できないという事象を F T A で解析した。図中の空欄に当てはまる論理記号の組み合わせで正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]



番号	a	b	c
1)	OR	AND	OR
2)	OR	OR	OR
3)	OR	OR	AND
4)	AND	AND	OR
5)	AND	OR	OR

【正解】⑬=1)

【解説】FTAとは予想される事故を想定し、そこからの原因を樹の根のように掘り下げていく手法である。掘り下げていく途中で必要条件(原因)が2種以上になったときは、それらをANDとORのゲートを使って結合し分析を進めていくものである。

- 1) 論理回路a:電源電圧が低下すると装置は動作できなくなる。また、脈波信号が無くなるとパルスオキシメータの原理から S_{pO_2} は計測できない。すなわち、どちらの不具合が生じても測定できなくなるので、OR回路である。
- 2) 論理回路b:電源電圧の低下は、バッテリーまたはAC電源一方だけの不具合では生じなく、両者がダウンして初めて発生する。したがって、AND回路である。
- 3) 論理回路c:脈波信号がないとの現象は、脈波のアンプが故障しても、センサの故障が発生しても発生する。したがって、OR回路である。したがって、a:OR b:AND c:ORであり、1)が正解

【問題 25】 生体の力学的特性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. 弾性要素と粘性要素が並列につながったものをフォークトモデルという。
- b. 脈波伝搬速度は血管壁の弾性率が大きくなると遅くなる。
- c. 血管壁の力学的特性には異方性がある。
- d. 全血はニュートン流体とみなされる。
- e. 血漿の力学的特性はマックスウェルモデルで表される。

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

[正解] ㉑ = 6)

[解説] 生体組織や血液の力学的特性についての雑多な内容で、第1種MEとしては出来て当然の問題である。

弾性要素と粘性要素が並列または直列に結合されたモデルは粘弾性体の基本モデルであり、力を支えてある一定の長さを保つ固体的なものでは弾性要素が力を支えるよう並列に結合されなければならない。これはフォークトモデルとわれる。他方、力を支えられず、どこまでも変位し得る流体的なものでは、弾性要素があるとすれば粘性要素と競合する並列の結合があってはならず、直列であるべきで、これはマックスウェルモデルといわれている。いずれのモデルも電気回路のCR並列、または直列回路と同様、線形要素で理想化されており、現実の生体組織のように弾性率が変位とともに変化するか、粘性率が流速とともに変化する場合には近似でしかない。

○ a. 上記

× b. 脈波伝播速度 PWV はメーンズ・コルテヴェーグの式で表せ、血管壁の弾性率が大きくきき、動脈硬化の判定に利用し得る。事実、加齢とともに動脈が硬化して弾性率が大きくなると、これに呼応して脈波伝播速度の上昇が見られる。

○ c. 血管壁では間を押し広げる圧力に耐える周方向の構造が発達しており、管軸方向とは全く異なっている。

× d. 全血では、浮遊する赤血球ほかの微粒子が連結したり集軸したりするため、粘性が流速により変化し、ニュートン流体と異なり一定の値にならない。

○ e. 血漿は血球分を含まないため、ニュートン流体でよく近似される、粘度の低い粘性流体である。流速に対し粘性率が比較的一定で、線形的なマックスウェルモデルで表すことができる。

【問題 26】 厚さ 10 nm，面積 0.1 mm²，誘電率は 0.5 μF/cm² の興奮性細胞の静止膜電位が -100 mV であった。細胞膜に蓄積されている電荷量は何クーロンか。有効数字 1 桁で解答欄 に記入せよ。[6]

【正解】 ㉔ = 5×10^{-11}

【解説】 細胞の電気的特性を示す抵抗率と誘電率は測定の関係上独特の単位を持っている。

誘電率は F/m² または F/cm² と単位面積あたりの値となっている。

このため，細胞膜の電気容量は細胞膜の厚さに関係なく面積だけで決定される。

したがって，厚さ 10 nm，面積 0.1 mm² の細胞膜の電気容量 C は

$$0.5 \mu\text{F}/\text{cm}^2 \times 0.1 \text{mm}^2 = 0.5 \mu\text{F}/\text{cm}^2 \times 0.001 \text{cm}^2 = 0.0005 \mu\text{F}$$

となる。

電荷が膜にたまって生じる膜の電位 V は，電荷量を Q とすると

$$V = Q/C \text{ であるから } Q = CV \text{ となる。}$$

静止膜電位が -100 mV であるから，

$$V = 100 \text{ mV}$$

よって，

$$Q = 100 \text{ mV} \times 0.0005 \mu\text{F} = 0.00005 \mu \text{クーロン} = 5 \times 10^{-11} \text{クーロン}$$

となる。

【問題 27】 生体における輸送現象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. 尿細管での水の再吸収は浸透圧差による。
- b. 毛細血管での物質の輸送は血管内圧と膠質浸透圧に依存する。
- c. 肺でのガス交換は肺胞膜における能動輸送による。
- d. 筋の仕事により生じた熱の移動には、血液循環の寄与が最も大きい。
- e. 心筋組織内圧は冠血流量に影響を与える。

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

【正解】 ⑳ = 2)

【解説】 生体内の輸送現象には圧差や拡散現象により、圧や濃度の高い方から低い方へ移行する受動的な輸送と、より複雑なメカニズムによって低い方から高い方への能動的な輸送とがある。前者の典型例は肺胞でのガス交換であり、後者の典型例は細尿管での水の再吸収である。とくに後者の例では人工物での模倣ができず、前者の受動的な輸送に頼らざるを得ないために、透析には多量の水が必要になる。

- × a. 細胞の生命現象として固有の、ナトリウムイオンの能動輸送に水が伴うことを利用した能動的な現象であり、浸透圧のような受動的な現象ではない。
- b. 毛細管では血管内圧と膠質浸透圧の僅かな圧差によって物質が輸送される。
- × c. 上記の通り、拡散を主とする受動輸送の代表である。
- d. 熱の輸送には熱伝導や輻射もあるが、体内深部ではこれらより血液が水冷式エンジンのように熱を効果的に筋から運び去る。
- e. 心筋組織内圧により冠動脈は圧迫され、心筋への血流が阻害されうる。

【問題 28】 安全限界を超えるのはどれか。番号を解答欄 22 にマークせよ。

[6]

- a. 送電線下の商用交流電界暴露による感電—————10 kV/m
- b. 高周波電磁波照射による眼障害—————0.01 W/cm²
- c. 超音波によるキャビテーション—————50 W/cm²
- d. 放射線被曝による染色体等の障害—————0.01 Sv
- e. 長期加温による熱傷—————45°C

- 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 = 9)

【解説】 安全限界を問う雑多な問題である。

- × a. 空隙のある導体間でスパークが起こるのは 1 MV/m 程度であり、小はプリント基板の導体間の絶縁破壊、大は雲と地面の間の雷まで、ほぼこれが目安となる。直流電界で 100 kV/m 程度から体毛に微風が当たる感覚を生ずる。10 kV/m 程度は高圧線の近くやテレビのブラウン管近辺などで日常体験する可能性があるが、とくに積極的に有害性も有用性も指摘されていない。
- × b. 生体組織に加えられたエネルギーが熱となって組織に吸収され組織に不可逆的変性を与える可能性がある場合、組織のエネルギー吸収の程度によっても異なるが、エネルギー密度 0.1 W/cm² 程度が安全限界とされる。電磁波でも超音波でも、周波数が高くなるほど組織でのエネルギー吸収が大きくなって侵入深度が浅くなり、障害は組織表面に限られるようになる。また、循環系が組織から熱を運び去るのが間に合わなくなると熱が溜まり、組織変性へとつながるので、組織血流の程度も関係し、照射エネルギー密度の安全限界は一概には決まらない。しかし、眼球において深さ 2 cm 程

度の間でほぼ全てのエネルギーが吸収されるとすれば、本設問では 0.01 W が 2 cm^3 の組織を加熱することになる。このことは 1 秒当たり 0.0012°C の温度上昇を生じるに過ぎず、熱伝導や血流によって十分に運び去ることのできる量となる。

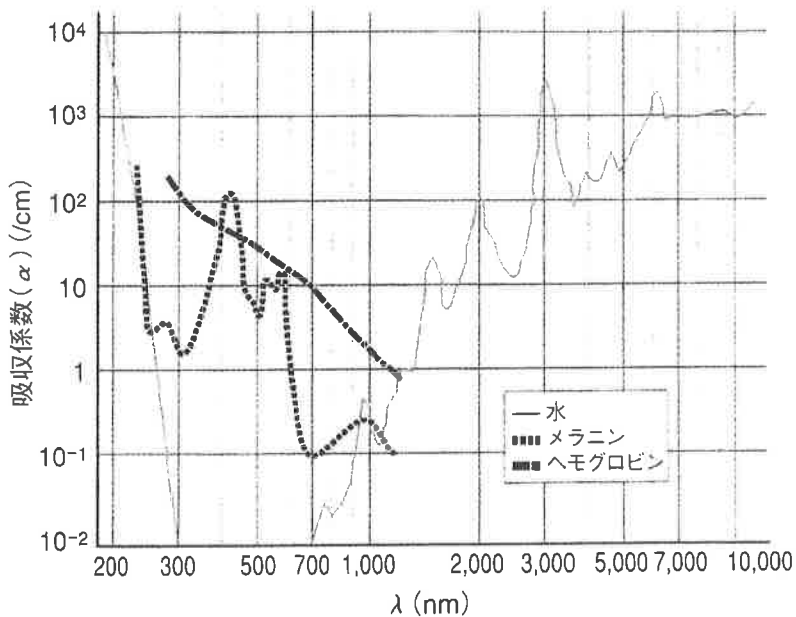
他方、体内波長が空中に比べ約 $1/7$ に短縮するため、数 GHz の高周波では眼球のサイズで共振が生じ、吸収と発熱が顕著になることが予想される。組織 1 kg 当りの電力吸収量 (SAR) で安全の基準が制定され、任意の局所では 8 W/kg が基準値とされる。組織の比重を 1 として換算してみれば 5 W/kg となり、安全限界内にあることが分かるであろう。

- c. 超音波についても、上記のエネルギー密度 0.1 W/cm^2 が生体組織への安全限界とされるが、キャビテーションの生じる限界値は周波数にもよるが $1\sim 10 \text{ W/cm}^2$ といわれる。
- × d. 大量の放射線を浴びると、生物は短時間で死亡する。半数致死量 (半数が死亡する量) はヒトの場合 $4\sim 5 \text{ Sv}$ (シーベルト) と言われるが、死に至らない量の放射線でも染色体レベルでの破壊などにより、種々の障害を引き起こす。皮膚では 2 Sv を越す照射で脱毛や潰瘍など、また骨髄では 0.25 Sv 以上で白血球の生産が減少する。それらに比べ、 0.01 Sv 程度の照射では染色体レベルでの破壊が問題にならず、直ちに障害が現れることはない。
- e. 加温時間が長いと 43°C 程度の低温でも熱傷の可能性があり、低温熱傷といわれる。経皮的酸素飽和度計や光電脈波計など、モニタのために接触部の生体組織が長時間にわたり加温されるようなセンサでは低温熱傷に注意する必要がある。

【問題 29】 波長が 300～400 nm の近紫外光，400～700 nm の可視光，700～1200 nm の近赤外光における生体の光吸収特性について正しいのはどれか。番号を解答欄 ㉓ にマークせよ。〔6〕

- 1) 水による吸収は，近紫外光の方が可視光よりも小さい。
- 2) 水による吸収は，可視光の方が近赤外光よりも小さい。
- 3) メラニンによる吸収は，近紫外光の方が近赤外光よりも小さい。
- 4) ヘモグロビンによる吸収は，可視光の方が近赤外光よりも小さい。
- 5) 皮下組織へ最も深く到達するのは，可視光である。

【正解】 ㉓ = 2)



【解説】 図は，生体組織として重要な水およびヘモグロビンと，皮膚科領域で重要となるメラニンについての紫外から赤外波長帯における吸収スペクトルを示したものである。これらの物質による光吸収は波長によって大きく異なることが見

で取れるが、レーザーの生体への深達度を知る上できわめて重要である。スペクトラムの特徴を大まかに把握することによって正答にいたる。

× 1) 水による吸収は、近紫外光の方が可視光よりも小さい。

グラフにおいて水による 300~700 nm の光吸収係数は、0.01/cm 以下で示されていないが、大まかには、500 nm を極小 ($\sim 0.0001/cm$) とする放物線を描き、300~400 nm の吸光係数は 0.01~0.001/cm、400~700 nm の吸光係数は 0.01~0.0001/cm となる。

○ 2) 水による吸収は、可視光の方が近赤外光よりも小さい。

× 3) メラニンによる吸収は、近紫外光の方が近赤外光よりも小さい。

メラニンの光吸収は、300 ~1200 nm にかけてほぼ単調減少する。

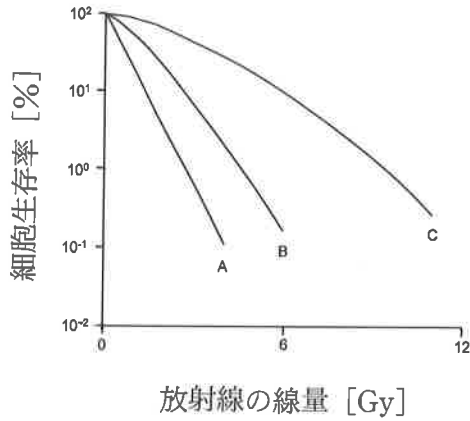
× 4) ヘモグロビンによる吸収は、可視光の方が近赤外光よりも小さい。

ヘモグロビンの光吸収は、可視光の方が近赤外光よりも大きい。また、ここには示していないが、酸化ヘモグロビンと還元（非酸化）ヘモグロビンの光吸収スペクトルの違いも重要で、近赤外領域の吸光度差が、パルスオキシメータの基本原理になっている。

× 5) 皮下組織への最も深く進達するのは可視光である。

図からも明らかのように、皮下組織では、ヘモグロビンとメラニンによる光吸収が大きいので、設問に上げた波長域の光のうち、深達度の最も大きいのは、近赤外光である。

【問題 30】 図は、ヒトの培養細胞に、X線、高速中性子線(1 MeV)、 α 線を照射して、細胞の生存率と線量の関係と比較したものである。正しいのはどれか、番号を解答欄 にマークせよ。[6]



	A	B	C
1)	α 線	高速中性子線	X線
2)	α 線	X線	高速中性子線
3)	X線	高速中性子線	α 線
4)	X線	α 線	高速中性子線
5)	高速中性子線	X線	α 線

[正解] ㉔ = 1)

[解説] 電離放射線の種類によって組織に与えられるエネルギーが異なることを線質といい、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。たとえば、250 KV の X 線が約 $2\text{KeV}/\mu$ 、1 MeV 高速中性子線は約 $50\text{KeV}/\mu$ 、 α 線が約 $100\text{KeV}/\mu$ の平均 LET を持っている。

ところで、本設問を正答するためには、さらに2つのことを知っておかねばならない。ひとつは、放射線量と生物作用効果の関係である。この関係、すなわち、線量—効果曲線は、指数曲線に近いが、閾値が小さな穏やかなシグモイド曲線になることが多い。もう一つは、RBE である。異なる放射線による生物作用効果を考えるとき、ある種の放射線による効果を、基準となる放射線 (LET が約 $3\text{KeV}/\mu$ の X 線) の効果と比較して表す指標として RBE : relative biological effectiveness (相対的生物学的効果比) があり、次のように定義されている。

$$\text{RBE} = (\text{ある生物学的効果を生じるのに必要な標準放射線の線量}) / (\text{同一の生物学的効果を生じるに必要な問題とする放射線の線量})$$

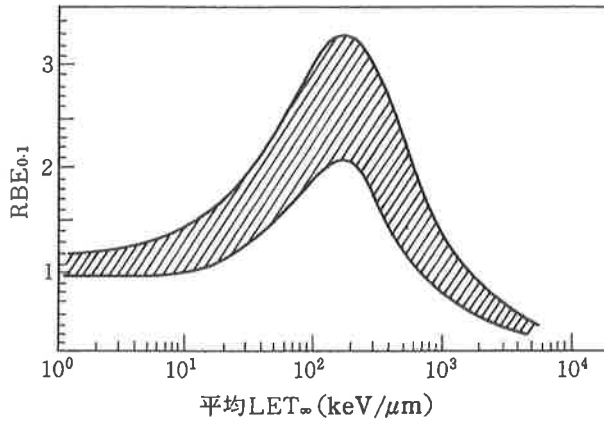
細胞の生存率を 0.1 (90%致死) にて低下させる線量について求めた $\text{RBE}_{0.1}$ と LET の関係は下図のようになり、LET が $100\sim 200\text{KeV}/\mu$ あたりでピーク (2~3) となる。したがって、このあたりの LET を有する放射線では、X 線の $1/3\sim 1/2$ の線量で同じ効果を示し、細胞への殺傷にもエネルギー的には最も効率がよいことを示している。

以上の説明より、LET が高い放射線では、同一の細胞殺傷効果をもたらす放射線量は、LET の低い放射線に比して少なくすむことがわかる。ただし、下図からわかるように LET が数 $100\text{KeV}/\mu$ を超える放射線種ではこの関係が成り立たなくなる。その原因としては、細胞を殺傷するのに必要以上のエネルギーを局所的に与えるためであろうと推測されている。今回、設問で取り上げた放射

線は、上述のように平均 LET が $100 \text{ KeV}/\mu$ 以下なので、同一の細胞殺傷効果をもたらす各種放射線量は、LET の最も高い α 線で最も小さく、LET の最も低い X 線で最も大きくなることがわかり、正答にいたる。

ところで、放射線量を変えて細胞生存率を求め、片対数グラフ上に横軸に線量、縦軸に生存率を描くことによって、設問図のような生存率曲線が得られるわけであるが、一般に α 線や高速中性子のような高 LET 放射線では片対数グラフでは直線となり、X 線のような低 LET 放射線では低線量域では肩を持つ指数関数曲線になることが知られている。

<参考図書 放物線生物学 改定4版, 増田康治 編, 南山堂>



RBE と LET との関係

【問題 31】 人工臓器と医用材料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. 眼内レンズ ————— ポリメチルメタクリレート
- b. 人工弁 ————— パイロライトカーボン
- c. 人工肺 ————— シリコーンゴム
- d. 人工乳房 ————— 多孔性ポリマービーズ
- e. 人工肝臓 ————— ポリエチレン

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

【正解】 ②⑤=10)

【解説】

- a. 眼内レンズ：白内障の治療に使用される人工水晶体である。レンズの部分はポリメチルメタクリレート（PMMA）が使われ、眼内で固定するためにポリプロピレンのループなどが使用される。
- b. 人工弁：心臓の弁の代替として使用され、材料はパイロライトカーボンが実用化されている。
- c. 人工肺：体外循環における血液の酸素加のために使用される。材料は酸素透過性に優れたシリコーンゴムや多孔質膜のポリプロピレンなどがある。
- × d. 人工乳房：シリコーン樹脂が使用される。シリコーンは耐熱性、撥水性、気体透過性、耐酸性、電気絶縁性に優れ工業材料としても広く用いられている。
- × e. 人工肝臓：活性炭や多孔性ポリマービーズなどが使用される。

【問題 32】 骨結合性材料として用いられているのはどれか。番号を解答欄

②6 にマークせよ。[6]

- a. チタン合金
- b. ポリプロピレン
- c. ポリカーボネート
- d. ハイドロキシアパタイト
- e. アマルガム

- 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】 ②6 = 3)

【解説】

- a. チタン合金：チタンおよびチタン合金は耐食性に優れ、生体とのなじみもよく骨との結合が可能である。高純度のチタンは強度が不足するので、骨材料にはチタン合金が使用されている。他の金属と比較して比重が小さく弾性率も小さい。
- × b. ポリプロピレン：ポリオレフィン系の合成樹脂で、注射器、薬剤の容器などの材料である。多孔質のものは人工肺の膜に使用される。
- × c. ポリカーボネート：耐熱性、サイズ安定性、耐衝撃性に優れているほか透明性もあることから、エンジニアプラスチックとして多用されている。医療用としてはダイアライザのハウジングなど硬質材料として利用されている。
- d. ハイドロキシアパタイト：骨や歯の成分であり、骨組織との高い親和性を有する材料で、種々の骨結合材料として利用されている。
- × e. アマルガム：水銀と他の1種または数種の金属の合金であり、やわらかく骨材料とはならない。

【問題 33】 医用材料の必要条件として、無毒性あるいは低侵襲性が重要であるが、これら以外の必要条件を3つあげ、解答欄 に記入せよ。〔6〕

【正解】 イ = 可滅菌性ないし可消毒性，医用機能性，生体適合性，耐久性など。
これらの意味を表す他の用語も正解とする。

【解説】 医用材料は，医用機器・器具の中で生体構成成分（血液，組織，細胞など）に接触して用いられなければならない材料である。治療用機器や計測・診断用機器でも，患者の生体構成成分に直接，接触する部分の材料は医用材料であるが，非接触部分は医用材料に含まれない。

医用材料の必要条件としては次の5つのものがあげられるが，とくにそのうちの①，②は，医用材料に不可欠のものである。

- ① 可消毒性・滅菌性：高圧蒸気滅菌，放射線・電子照射滅菌，EOG（エチレンオキサイドガス）滅菌などの消毒・滅菌が可能であること。
- ② 無毒性・低侵襲性：生体に対して，毒性，発癌性がなく，刺激性や炎症惹起性も適度であること。
- ③ 医用機能性：医療機器・用具としての機能と効率が発揮できること。
- ④ 生体適合性：力学的適合性および界面適合性（血液適合性，組織適合性など）を有すること。
- ⑤ 耐久性：耐疲労性および耐摩耗性を有すること。

【問題1】 病院管理の一環としての医療機器管理において重要な点を100字以内で解答欄 に記述せよ。[6]

【正解】 ア=医療用機器の員数がそろっていることや所在管理がなされているほか、必要時に機器の性能が十分発揮され、患者と操作者の安全が確実に保たれるよう保守点検・安全管理を行わなければならない。(これは解答の一例であるので、下記の解説にあるキーワードにより、適切な文章を100字以内で作成すればよい)

【解説】 病院管理の目的は、患者の診療や看護を的確かつ安全に実施するとともに、病院の合理的な運営・経営を行うことである。

具体的には、保守点検と安全管理を十分に実施することにより、診療時に機器の性能を十分に発揮できるようにするとともに、患者と操作者である医療従事者の安全を確実に保つようにはからう。このためには、臨床工学士などそれに必要な人員の確保と実施のための組織・体制も重要となる。

また、運用・経営管理の立場からは、所在管理を行うことにより、医療機器の員数の確認や機器の所在場所を明らかにし、紛失を防ぐのみならず、機器が使われずに眠っているような事態を防ぐことが肝要である。

さらに、医療機器の購入時には、機器の使用者のみならず保守管理にあたる職員も加わり、機器の仕様の検討を行うとともに、性能、安全性、経済性、耐久性、信頼性、保守管理の容易性など、購入機器の多角的な評価から購入すべき機種を決定する必要がある。

なお、地域の中核病院などでは、他の医療機関との連携に関連して、医療資源の有効利用の立場から、他の機関の医療スタッフに対して共同利用の機会を提供することを考慮し、このような観点かに立った医療機器の購入や管理も必要となる。

【問題2】 JIS T 0601-1 で規定される単一故障状態に関する記述のうち正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 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した場合は、一つの単一故障状態と見なされる。
- b. 二重絶縁の両方の電氣的破壊は単一故障状態の一つである。
- c. 患者が接地された状態は単一故障状態と見なされる。
- d. 電気部品の故障はすべて単一故障状態と見なされる。
- e. F形(絶縁)装着部に外部の電圧が現れる場合は単一故障状態である。

- 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】 ① = 4)

【解説】 JIS T 0601-1 における一般的要求事項での単一故障状態の定義から、正しいかどうかを見てみる。

- a. 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した場合は、一つの単一故障状態と見なされる。
- × b. 二重絶縁の両方の電氣的破壊は単一故障状態の一つである。
- × c. 患者が接地された状態は単一故障状態と見なされる。
- × d. 電気部品の故障はすべて単一故障状態と見なされる。
- e. F形(絶縁)装着部に外部の電圧が現れる場合は単一故障状態である。

【問題3】 つぎに示す事故について、PL法による賠償責任を問われるのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 修理業者が行った不適切な修理が原因で機器が発熱し、操作者が火傷を負った。
- 2) 新品の機器がその機器の欠陥で焼損してしまったが、その他には被害はなかった。
- 3) メーカーが指定した使用方法に従わないで機器を使用したため、事故が発生した。
- 4) 輸入した製品の欠陥で事故が起き、施設が損傷した場合、輸入販売業者は責を問われる。
- 5) 機器の引き渡し時の科学・技術水準では予測できない機器の欠陥により、事故が発生した。

【正解】②=4)

【解説】PL法（製造物責任法）は、製造業者等が、自ら製造、加工、輸入又は一定の表示をし、引き渡した製造物の欠陥により他人の生命、身体又は財産を侵害したときは、過失の有無にかかわらず、これによって生じた損害を賠償する責任があることを定めたものである。ただし、その侵害がPL法に当てはまらない場合は、従来どおり民法で損害賠償責任を請求することになる。

- ×1) 修理の不適切による事故はPLの製造、加工にあたらぬので、PL法の賠償責任は生じなく、間違い。
- ×2) 製品の欠陥による事故であっても、生命、身体又は財産に影響がなかったため、PL法の対象とならなく、間違い。
- ×3) 例えば、100V用の機器を220Vで使用して事故が起きた場合などが想定できるが、この場合、明らかに使用ミスであり、製品の欠陥ではない。したがって使用ミスはPL法の対象とならず、間違い。
- 4) PL法第2条で、製造業者等とは、「当該製造物を業として製造、加工又は輸入した者」と規定しており、輸入製品による欠陥事故は輸入販売業者が責任を問われるので、正解である。
- ×5) PL法第4条で、「当該製造物をその製造業者等が引き渡し時における科学又は技術に関する知見によっては、当該製造物にその欠陥があることを認識できなかったこと」を証明したときは賠償の責めに任じないとの免責事由が規定されており、この場合はPL法の対象とはならず、間違い。

【問題4】 JIS T 0601-1 で定められた絶縁に関する定義で誤りはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. 空間距離：二つの導電性部分間の空気中の最短距離
- b. 沿面距離：二つの導電性部分間の絶縁物の空間的最短距離
- c. 基礎絶縁：電撃に対する基礎的な保護のため、生きている部分に使用する絶縁
- d. 補強絶縁：基礎絶縁の不良時における電撃に対する保護のために追加して使用する絶縁
- e. 二重絶縁：補強絶縁と強化絶縁とで構成した絶縁

- 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】 絶縁に関する定義の問題である。空間距離、沿面距離も絶縁を構成する要素である。機器の内部では、電源コネクタの端子など電源の一次側が剥き出しとなっている箇所があるが、これらの生きた部分と接触可能金属部分との絶縁は、間に絶縁物を入れて行うこともあるが、多くは空間距離及び絶縁物の沿面の距離を確保することで実現している。

- a. 空間距離：この定義は正しい。
- × b. 沿面距離：沿面距離とは、空間距離ではなく、絶縁物の表面に沿っての距離をいい、間違いである。「二つの導電性部分間の絶縁物の表面に沿った最短距離」が正しい。
- c. 基礎絶縁：この定義は正しい。
- d. 補強絶縁：この定義で正しい。
- × e. 二重絶縁：二重絶縁とは、「補強絶縁と基礎絶縁」で構成されたものをいい、間違いである。強化絶縁とは、二重絶縁と同程度の強度をもった絶縁のことをいう。

【問題5】 厚生労働省は、平成13年7月に「人工呼吸器警報基準」を公示した。その基準には人工呼吸器の警報についての以下に示す主たる4つの項目が含まれている。そのうち、JIS T 1031「医用電気機器の警報通則」の規定より厳しいものを選び、その番号と、どのように厳しいかを、解答欄□①□に100字以内で説明せよ。ただし、ここでいう音声とは音あるいは声を指す。[6]

- 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。

[正解 (例)] ②で、警報 JIS では、「警報音は一時停止したあと 10 分以内に自動復帰すること」と定められているが、この人工呼吸器警報基準では 2 分以内とより厳しい要求をしている。

[解説]

- ① については、JIS は特に述べていないが、「医用電気機器の警報」の意義から言って、緊急事態に警報を発するのは当然であり、「呼吸回路が外れた場合」は、報知すれば患者の死を招く可能性が大であるので、当然ながら「緊急警報」を発するべきである。JIS と矛盾しているわけではない。
- ② 正解例に示すように、「警報 JIS」より「人工呼吸器警報基準」のほうが厳しいのは、「警報音の一時停止後の自動復帰の時間」で、JIS ではこれを「10 分間を超えてはならない」としているが、「人工呼吸器警報基準」では「2 分以内に」となっており、より厳しくなっている。
- ③ JIS では「警報音は、一時的に停止、又は減弱できる手段を備えていることが望ましい」としているが、「緊急警報の減弱された最小音圧レベルは 70 dB 以上であること」と規定されており、「人工呼吸器警報基準」と同等の規定である。
- ④ JIS は警報の様式を示したもので、どのような場合に緊急警報を発すべきとは書かれていないが、①と同様に、「給電が停止した場合」は「緊急事態」であるから「緊急警報」を発するべきである。JIS と矛盾しているわけではない。

【問題 6】 JIS T 0601-1-1「医用電気システムの安全」で用いられる用語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. 医用電気システムは医用電気機器と他の非医用電気機器との組み合わせも含む。
- b. カップリングとは異なった機器間の全ての機能的な接続をいう。
- c. 患者環境とは物理的手段によって仕切られる患者空間である。
- d. 分離装置とはシステムの部分間の好ましくない電圧又は電流の伝導を防止するものである。
- e. マルチタップとはシステム間の接続に供する複数の外部出力端子のことである。

- 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】 ④=9)

【解説】 JIS T 0601-1-1「医用電気システムの安全要求事項」は医用電気機器や非医用電気機器との複数使用の増加に伴い、1999年に制定され、2005年に一部が改正された。

- a. 医用電気システムとは、少なくとも一つは、機能的接続またはマルチタップで接続した医療機器を含む複数の機器の組合せである。
- b. カップリングとは異なった機器間の全ての機能的な接続をいう。但し、2005年改正版の定義では用いられなくなった。
- × c. 患者環境とは空間領域で周囲（横）1.5 m、（高さ）2.5 m の範囲である。
- d. 分離装置とは安全のためにシステムの部分間の好ましくない電圧又は電流の伝導を防止する入力部および出力部をもつ部品または部品の組合せ。
- × e. マルチタップとは電源に接続したまま、ある場所から他の場所まで容易に移動することのできる複数の電源ソケットの組合せ。

【問題7】 JIS T 1022「病院電気設備の安全基準」では、鉄筋コンクリート造の病院では、建物の地下部分を接地極として使用することを推奨しているが、その接地抵抗は計算によって求めるとしている。いま、建物の地下部分の縦、横、深さをそれぞれ100 m、100 m、50 mとし、土壤の抵抗率を1000 Ωm とすると、その接地抵抗はJISでは、いくらと見積もるべきか。小数点第1位まで計算して解答欄 に記入せよ。ただし、抵抗率 ρ の媒質中の半径 r の半球電極（表面積 A ）の広がり抵抗 R は、 $R = \rho / (2 \pi r) = \rho / \sqrt{2 \pi A}$ で表わせるとする。
[6]

【正解】 = 6.9 Ω

【解説】 JIS によると接地抵抗は

$$R = 3 \times 0.4 \rho / \sqrt{A} \cdots \cdots \textcircled{1}$$

と計算することになっている。

題意により、建物の地下部分の寸法は、縦、横、深さが、それぞれ100 m、100 m、50 mであるから、その総表面積は、100 m×50 mの側面が4面と、

100 m×100 mの底面とで、 $A = 100 \cdot 50 \cdot 4 + 100 \cdot 100$ となる。計算すると、 $\sqrt{A} = 100 \sqrt{3}$ だから、 $R = 3 \cdot 0.4 \cdot 1000 / (100 \sqrt{3}) = 12 / 1.732 = 6.9 \Omega$ となる。

なお、問題文中の「抵抗率 ρ の媒質中の半径 r の半球電極（表面積 A ）の広がり抵抗 R は、 $R = \rho / (2 \pi r) = \rho / 2 \pi A$ 」とある中の $1 / \sqrt{2 \pi}$ は0.3989で、ほぼ0.4であるから、上記半球電極の広がり抵抗は、

$$R = 0.4 \rho / \sqrt{A} \cdots \cdots \textcircled{2}$$

となる。①式と②式の違いは、係数3だけであるが、JISの①式の3は、建物の地下部分を同じ表面積を持った半球と仮定して計算した「広がり抵抗（接地抵抗）」の理論値を、複雑な形状の実際の建物の地下部分へ適用するための「安全係数」（計算値と実際値の誤差を考慮に入れた係数）である。

【問題8】 病院電気設備のコンセントおよび電気機器の電源プラグの点検をした。改善すべきものはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 病室の離れた2箇所に設置された保護接地端子の間の抵抗を測ったら $0.15\ \Omega$ あった。
- 2) 一般用の電気ストーブが事務室の2Pコンセントに差し込まれていた。
- 3) 医用コンセントから医用プラグを抜く力をバネばかりで測ったら $8\ \text{N}$ ($0.8\ \text{kgf}$) であった。
- 4) 医用電気機器使用中のコンセントの電源電圧を測ったら $96\ \text{V}$ であった。
- 5) 医用接地センタボディーの分岐バーに接続されたリード線の色が緑色だった。

【正解】 ⑤ = 3)

【解説】

JIS T 1022「病院電気設備の安全基準」、JIS T 1021「医用差込接続器」、JIS C 2808「医用接地センタボディー及び医用接地端子」の内容に関する問題である。

- 1) 病室の壁の保護接地端子は、その室の接地線センタに、 $0.1\ \Omega$ 以内の接地分岐線で接続することになっているので、離れた保護接地端子間の抵抗は、 $0.1\ \Omega + 0.1\ \Omega = 0.2\ \Omega$ 以内のはずであるから、 $0.15\ \Omega$ は規格の範囲内である。
- 2) 一般用の電気ストーブおよび事務室の電源コンセントは「医用」の規格に拘束されないので、2Pプラグ、2Pコンセントでよい。
- ×3) 医用コンセントの保持力は $15\text{--}60\ \text{N}$ ($1.53\text{--}6.12\ \text{kgf}$) と定められているので、 $1\ \text{kgf}$ では「保持力低下」であるので取り替えなどの処置が必要である。
- 4) $100\ \text{V}$ のコンセントの電圧は $\pm 5\%$ 以内と定められているので、 $96\ \text{V}$ は規格値内である。
- 5) 用接地センタボディーの分岐バーに接続されたリード線の色は「緑／黄」又は「緑」となっている。なお、病院建物内に配線される保護接地色も、「緑／黄」又は「緑」となっている。

【問題 9】 以下の医用電気設備に関する文の空欄に当てはまる適切な語句・数字を解答欄 ～ に記入せよ。[2×3=6]

- 9-1 電気設備の安全基準では電撃に対する安全対策として診療，検査，治療，監視などの医療行為を行う医用室には，保護接地のための ，医用コンセント，医用接地端子の3つの設備を備えることになっている。
- 9-2 医用室の中でも心臓に極めて近接した体内や心臓にカテーテルを挿入する検査室などではマイクロショック対策の為に の設備が必要である。
- 9-3 医用接地方式の接地極の抵抗は $10\ \Omega$ 以下となっているが，全ての医用室に の設備がある場合は Ω 以下であればよいことになっている。

[正解]

㊸=医用接地センタ

㊹=等電位接地

㊺=100

[解説]

電撃に対する安全手段としての保護接地と、マイクロショック対策としての等電位接地からなるシステムを「医用接地方式」と呼び JIS で基準が設けられている。

9-1 保護接地の基準

医用室（安全基準の用語で、診療、検査、治療、監視等の医療を行うための室）にはかならず、「医用接地センタ、医用コンセント、医用接地端子」の3点セットを備える。

9-2 等電位接地の基準

等電位接地はマイクロショック対策で、「心臓にきわめて近接した体内又は心臓に直接医用電気機器の電極等を挿入して医療を行う医用室」に設けなければならない設備で、患者の周囲の金属部分（故障時に電源の電圧が現れる恐れがあるか、大地につながった金属部分）を全て 0.1Ω 以内の導線で医用接地センタに接続した設備。

9-3 接地極の基準

大地との接続点を接地極と呼び、その抵抗は 10Ω 以下としている。基準では接地極は普通、銅棒や銅板を地中に埋設するがこのような低い接地抵抗は実現しにくいので「鉄筋鉄骨コンクリート造りの建築構造体の地下部分を接地極として使用」することを推奨している。また全ての医用室に「等電位接地配線」を行えば、 100Ω 以下でもよいとしている。

【問題10】 医療ガスの誤供給(誤投与)を防止するために用いられているのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- a. マニフォールド
- b. CE(cold evaporator)
- c. DISS(diameter-index safety system)コネクタ
- d. シュレーダ方式
- e. ヨーク締付式

- 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】⑥= 8)

【解説】

- × a. マニフォールドは複数の高圧ガスの容器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、片方のバンクが空になるともう一方のバンクから自動的にガスが供給される仕組みになっている。
- × b. CE は定置式超低温液化ガス貯槽による供給装置のことで、医療ガスの液化したものを貯蔵するタンク、それを気化させる蒸発器、圧力調整器および制御装置から構成され、ここから各部所に設けられた配管を介して医療ガスが供給される。普通、液化酸素および液化窒素に用いられている。
- c. DISS コネクタはガスの種別ごとに異なる直径のはめ合いを用いてガス別特定を確保することを目的としたおす・めす一對のねじ式接続用具で、ホースアセンブリと医療機器(人工呼吸器、麻酔器など)との間、手術器械駆動用窒素の配管端末器とホースアセンブリとの間に用いられている。
- d. 医療ガス配管設備の配管端末器において、医療ガスの誤供給を防止するために設けられている迅速継手で、接続部の口径が医療ガスにより異なっている。
- × e. 内容量 150ℓ(リットル)未満の高圧ガス容器(ボンベ)のガス充てん口の形式の1つで、医療用の小型ボンベに用いられている。

【問題 11】 医療ガスの充てん口の形式が「おねじ」のボンベにおいて、酸素ガスと間違えて投与する危険性のない医療ガスはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[5]

- a. 亜酸化窒素
- b. 酸素／亜酸化窒素混合
- c. 窒素
- d. 空気
- e. 二酸化炭素

- 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 = 4)

【解説】

「おねじ」は内容積 150ℓ (リットル) 未満の高圧ガス容器 (ボンベ) のガス充てん口の形式のひとつで、ガスの誤投与を防止するため、JIS B 8246「高圧ガス容器用弁」で充てん口の寸法がガス別に規定されている。ただ、これらがすべて医療の現場に導入されているのではなくて、現時点では亜酸化窒素 (JIS T 7101-1993「医療ガス配管設備」制定時より) と二酸化炭素 (平成 16 年 4 月 1 日出荷品より) がこの規格にしたがっているが、酸素／亜酸化窒素混合、窒素、空気のガス充てん口の寸法は酸素のそれと同じであるため注意する必要がある。

【問題 12】 医療ガス配管に「STA」の記号が表示されていた。この配管で供給される医療ガスは何か。番号を解答欄 にマークせよ。[5]

- 1) 亜酸化窒素
- 2) 治療用空気
- 3) 駆動用空気
- 4) 吸引
- 5) 麻酔ガス排除

【正解】 ⑧ = 3)

【解説】

医療ガス配管の識別色は JIS T 7101 「医療ガス配管設備」で規定され、選択肢にあるガスは下記のように決められている。

- × a. 亜酸化窒素の医療ガス配管での表示記号は亜酸化窒素の元素記号の「N₂O」である。
- × b. 治療用空気の医療ガス配管での記号表示は「AIR」である。
- c. 駆動用空気の医療ガス配管での記号表示は「STA」で、これは「surgical tool air」のことである。
- × d. 吸引の医療ガス配管での記号表示は「VAC」で、これは「vacuum」のことである。
- × e. 麻酔ガス排除の医療ガス配管での記号表示は「AGS」で、これは「anesthesia gas scavenging」(麻酔ガス排除)のことである。

【問題 13】 温度計に関する記述で、次の文章の空欄に当てはまる語句を解答群から選び、解答欄 ～ にマークせよ。[2×3=6]

最近の接触型体温計には高感度で負の温度係数の抵抗をもつ を利用したサーミスタが使われている。発熱体は の法則にしたがって輻射エネルギーを放出しているので、非接触型では を検出し、鼓膜温度を計測している。

の解答群

- 1) 銅・コンスタンタン
- 2) 半導体
- 3) CdS
- 4) NaI
- 5) 水銀

の解答群

- 1) ストークス
- 2) ステファン・ボルツマン
- 3) デバイ
- 4) ジュール・トムソン
- 5) ファラデー

の解答群

- 1) ガンマ線
- 2) 赤外線
- 3) 紫外線
- 4) マイクロ波
- 5) 電子線

【正解】 ⑨ = 2) ⑩ = 2) ⑪ = 2)

【解説】

⑨ 一般に金属は温度の上昇で抵抗が上昇する。しかし半導体は温度の上昇で抵抗が低下する。この理由は、半導体は導体と不導体の中間の抵抗を持っている。そして帯理論によると禁制帯のギャップも中間の大きさである。そのために温度の上昇程度のエネルギーにより価電帯の電子（キャリア）が伝導体へ移動する。その結果電気を運ぶキャリアが多くなり電気抵抗が小さくなるので負の温度係数を持つことになる。

金属酸化物や半導体などの電気抵抗が温度で編かすることを利用したセンサがサーミスタである。金属酸化物（Mn, Co, Ni）やシリコン（半導体）、薄膜（Ge, SiC）などが用いられる。

温度の上昇で抵抗が大きくなるものをPTC（Positive Temperature Coefficient）、減少するものをNTC（Negative Temperature Coefficient）特定の温度で抵抗が急変するものをCTR（Critical Temperature Resistor）と呼び、一般にはNTCを用いる。

⑩ 輻射エネルギーは絶対温度の4乗に比例する。これはステファンボルツマンの法則として知られている。ジュール・トムソン効果とは、気体を断熱膨張させるとき、温度が下がる現象で冷蔵庫に应用される。

⑪ 輻射とは電磁波（光）として放射するエネルギーである。ストーブの反射板やポットの内部が鏡面になっているのは電磁波（光）を反射させるためである。その電磁波の中で熱を伝える電磁波は赤外線である。

【問題 14】 次のセンサで赤外線吸収特性を利用しているのはどれか。番号を
解答欄 にマークせよ。[6]

- a. パルスオキシメータ
- b. 経皮的酸素ガス分圧測定装置
- c. カブノメータ
- d. ヘリウムガスメータ
- e. 窒素ガスメータ

- 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 = 2)

[解説] 問題はセンサとあるが、正確にはセンサを用いた装置である。本問題は血液中のガスあるいは呼吸機能計測時に必要なガスの検出原理で赤外光の吸光特性を利用しているガスについての設問である。

- a. 赤外光と赤色光の2波長を指先などより動脈に向けて照射することによって動脈血中のそれぞれの照射光に対す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の違いを原理とした測定法である。
- × b. 皮膚の角質のうすい新生児の胸壁などに加温機構を備えた酸素分圧電極(クラーク電極)を接着して動脈血中の酸素分圧を経皮的に測定する装置である。クラーク電極は電解液中の陰極に白金線、陽極に Ag-AgCl 電極を用いてこの間に 0.6 V 程度の電圧をかけると白金線の陰極で消費された酸素に比例した還元電流が流れる。この電流が酸素分圧に比例する。したがって赤外光は使用していない。
- c. 一酸化炭素 (CO), および二酸化炭素 (CO₂) ガスは赤外線領域で吸収帯をもっているので、呼気時の CO₂ ガスの検出に赤外線が用いられる。術中の患者の呼吸管理機器として CO₂ ガス呼気ガスモニタを通常カプノメータがある。
- × d. 肺気量分画の機能的残気量や肺のガス分布の測定などにヘリウム (He) ガスが用いられる。呼吸中や呼吸終了時の He 濃度を測定するヘリウムガスメータは加熱した導体が He ガスにさらされると導体はそのガス濃度に依存して冷却され、その冷却に伴う導体の抵抗変化を電気量として検出するものである。
- × e. 窒素 (N₂) ガスメータは呼気ガス中の窒素ガス濃度を測定する場合に用いられる。呼気中の混合ガスの一部を真空ポンプで両端に 100 V 程度の電圧をかけた放電管に導くと、N₂ ガスはその濃度によって波長 330~480 μm の紫色のグロー放電を発する。この放電光をフィルタを介して光電管で N₂ ガス濃度に比例した電圧を検出する。

【問題 15】 心電図モニタリング中に商用交流雑音(ハム)が混入した。アースの接続不良や同相抑圧比の低下以外に考えられる原因を2つ挙げ、解答欄 に記入せよ。[6]

【正解】 ①アースの接続不良 ②同相抑圧比の低下(機器の故障・整備不良)このほか、③電極の接触不良 ④患者コード(誘導コード)の断線や配置不良 ⑤異種電極の混用 などが考えられる。

【解説】 同様な問題が、第1回午後の部[問題5]に出題されているので、詳細はこの解説書を参考いただきたい。

商用交流雑音(ハム)の混入は、心電図の記録・モニタ中によく起こる問題であるから、上記問題解説を参考に商用交流雑音(ハム)混入の原因として挙げた①、③、④、⑤などは自分で実際に再現し、交流雑音混入の程度を体験してみるとよい。

【問題 16】 MRI 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。[6]

- 1) MRI は造影剤を用いなくても血管造影ができる。
- 2) X 線 CT より早期の脳梗塞の診断に適している。
- 3) fMRI は肺癌の診断に適している。
- 4) 軟骨などの軟部組織の診断は X 線 CT の方が適している。
- 5) MRI 画像は組織の水素原子の分布を反映している。

【正解】 = 3) または 4) 5 択問題としては不適切である。

【解説】 画像診断に関する問題

- 1) ○ MRI は原理的に血流のある組織の画像化には不適當である。そのために血流部分とその他の組織を明瞭に描出でき、MR アンギオグラフィと呼んでいる。ちなみに MRI の造影剤はガドリニウムである。
- 2) ○ 一般に普及している X 線 CT による脳梗塞の診断は、組織の変成により CT 値が変化して、正常組織と区別できるようになる。そのため発症後約 1 日程度経過しないと明瞭な画像とならない。このような急性期の脳梗塞の診断は MRI の方が適している。
- 3) × fMRI は、(functional Magnetic Resonance Imaging) の略称で、MRI の変法でヘモグロビンの酸化をとらえて画像化する。還元ヘモグロビンは 4 個の不对電子を持っているため、磁化率が大きい常磁性体としての性質を持つので、MRI の信号強度を減弱する。一般に脳などの神経活動の検出に用いられ、腫瘍を診断する方法ではない。
- 4) × 軟骨組織は X 線の一般的撮影では透過してしまい、X 線 CT では撮影が困難で MRI の方が適している。
- 5) ○ MRI は水素原子核のスピンによる核磁気共鳴を画像化している。水素以外の奇核原子でも核磁気共鳴は起こるので画像化は可能。

【問題 17】 パルスオキシメータについて誤っているのはどれか。番号を解答欄

⑭ にマークせよ。[6]

- a. インドシアニングリーンが血中に投与された場合、低値を示すことがある。
- b. プロブ装着部位に強い光が当たると測定値に影響を及ぼす。
- c. 末梢循環不全状態では測定不能になることがある。
- d. 圧脈波を検出しているのでプロブを強く巻いて固定する。
- e. プロブからの2つの発光は目視により確認できる。

- 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

【正解】 ⑭=10)

【解説】

- a. 静脈より投与される色素の量にもよるが、濃度の高い緑色、青色を呈する色素では赤色光領域の光を高率に吸収するため低値を示すことがある。
- b. プロブに蛍光灯や外光が直接あたると外乱となり測定ができなくなるので、プロブに直接光があたらないようにする。特に、ディスプレイブルタイプのは光に弱い。
- c. 抹消循環不全状態では容積脈波が検出できなくなり測定不能状態に陥りやすい。
- × d. 測定部位にプロブを強く巻くと圧迫により容積脈波が検出されず動脈と静脈の区別がつかず測定できない。
- × e. パルスオキシメータプロブの発光部からは赤色光と赤外光が交互に発光している。その周波数は、一般に1～2 kHz程度であり目視では交互に発光していることは確認できない。周波数を小さくしても赤外光の発光は目視では確認できない。

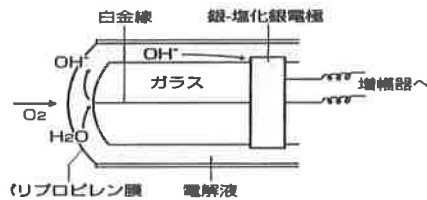
【問題 18】 動脈血酸素分圧の測定について誤っているのはどれか。番号を解答欄 ⑮ にマークせよ。〔6〕

- 1) クラーク電極で測定できる。
- 2) パルスオキシメータで測定できる。
- 3) 測定値を体温補正する。
- 4) 酸素吸入中にも測定できる。
- 5) 血液中の気泡は測定値に著しい影響を及ぼす。

【正解】 ⑮ = 2)

【解説】

○ 1) クラーク電極は図に示すように白金線（陰極）、銀-塩化銀電極（陽極）、ポリプロピレン膜、電極液（KCl など）からなる。陰極と陽極間に電圧（0.6 V）を加えておくと、ポリプロピレン膜を介して取り込まれた酸素は、電極表面に拡散して還元反応が生じる。この時酸素分圧に比例した電流が流れる。この還元電流を検出することで動脈血酸素分圧が測定できる。この方法は「アンペロメトリック法」といい、電極を開発したクラーク（Clark）の名をとりクラーク電極と言われている。



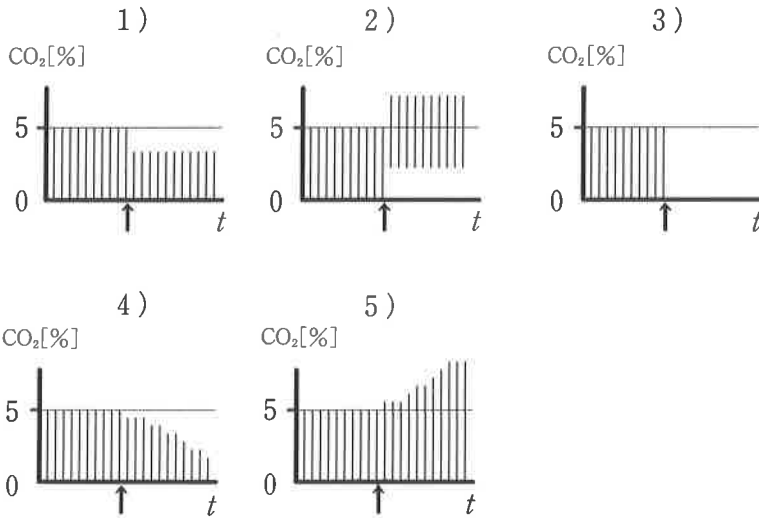
石山陽事：臨床工学技士標準テキスト 金原出版 2002, p 469 より引用

× 2) パルスオキシメータは、酸化ヘモグロビンと還元ヘモグロビンに対する赤色光（660 nm）と赤外光（919 nm）の吸光度の違いを利用し、かつ動脈性の拍動時に変化する成分（容積変化）だけを取り出し、それぞれの吸光

度の割合から酸素飽和度を測定している。

- 3) 通常、血液ガス分析装置内の温度は 37°C に固定されており、患者の体温との間に差がある。このため実測値を患者の体温で補正する必要がある。
- 4) 呼吸管理を行う上で酸素供給のバランスを評価するために血液ガス分析(動脈血酸素分圧などの測定)は重要である。動脈血の採血部位は大腿動脈、橈骨動脈、足背動脈、または観血的にモニタリングしている場合はモニタラインから採血する。そのため酸素吸入を行っている場合には、肺での酸素化の後に左心室を経由して大動脈に循環するために酸素吸入中にも測定して良い。
- 5) 気泡が存在する場合は、採血後ただちにシリンジから除去(追い出す)する。血液中のガス分圧、気相と液相の接触面積、温度などにより影響があり、気泡混入の場合には動脈血酸素分圧により異なるが、100 mmHg の場合 128 mmHg に上昇しうるとの報告(井上:血液ガスの測定,臨床病理 26:637~645,1978)がある。

【問題 19】 人工呼吸中患者の気管チューブと呼吸回路との接続が図の↑の時点で外れた。そのときに見られるカプノグラムの低速記録で正しいのはどれか。番号を解答欄 にマークせよ。[6]



【正解】⑬＝3)

【解説】

- × 1) この図では二酸化炭素の濃度が低下した後一定の値に維持されているが、これは人工呼吸器の設定を過換気したときや肺の空気塞栓のときに見られる。
- × 2) この図では基線が上昇しているが、これは二酸化炭素の再呼吸が起こっていることを意味し、呼気弁の異常が考えられる。なお、基線の上昇は校正ミスでゼロ点が狂ったときにも認められる。
- 3) この図では突然波形が消失しているが、これは呼吸回路がはずれて呼気ガス中の二酸化炭素がまったく測定されなくなったときに見られる。呼吸回路のはずれでもセンサ部が気管チューブに接続されていれば波形は出ている。なお、波形の突然の消失はサイドストリーム方式のサンプリングチューブの閉塞や脱落時、心停止時などでも見られる。
- × 4) この図では二酸化炭素の濃度が徐々に低下しているが、これは体温下降で二酸化炭素産生が減少したときや心拍出量が低下して肺循環血液量が減少したときに見られる。
- × 5) この図では二酸化炭素の濃度が徐々に上昇しているが、これは体温上昇や悪性高熱において代謝亢進による二酸化炭素産生が増加した場合に見られる。

【問題 20】 人工呼吸器使用中に 1 回換気量を測定したところ、加湿器の稼動時は非稼動時より 30 ml 多く表示された。 37°C 水蒸気飽和状態で水蒸気の割合を 6% とすると、加湿器非稼動時の 1 回換気量はいくらか。番号を解答欄 にマークせよ。ただし、回路コンプライアンスは無視し、供給ガスは乾燥しているものとする。[6]

- 1) 400 ml
- 2) 410 ml
- 3) 420 ml
- 4) 450 ml
- 5) 470 ml

[正解] ⑰ = 5)

[解説] この問題は気体（一般的にガスと表現されることもある）の状態を確認する問題で、「0°C, 1気圧, 水蒸気を含まない状態」をSTPD, 「室温, 測定時の大気圧, その時の水蒸気を含んだ状態」をATPS, そしてこの空気を吸って肺の中での「37°C, 測定時の大気圧, この時の水蒸気の飽和した状態」をBTPSとして表される。

この問題では, 室温状態で加温器が非稼動であるから, 吸気ガスの状態は水蒸気を含まない状態で, この時のガス量を $x\text{ml}$ とする。

また, 37°Cの時には6%の水蒸気分が増えることになるから, この時のガス量である1回換気量TVは

$$TV = x + 30 \text{ となる。}$$

さらに, 37°Cの時の1回換気量TVと水蒸気の6%の積が, 飽和水蒸気の量となるので,

$$TV \times 0.06 = 30 \text{ ml}$$

$$TV = 500 \text{ ml}$$

これより

37°Cの時の1回換気量は $TV = 500 \text{ ml}$ となることがわかる。

これより, 室温状態で乾燥した, つまり加湿器が非稼動状態では上記の解説より

$$x = TV - 30 \text{ から}$$

$$500 \text{ ml} - 30 \text{ ml} = 470 \text{ ml}$$

となり, 5) が正解となる。

【問題 21】 麻酔器の定期点検時に酸素ガス流量 $2\ell/\text{min}$ 、合成空気流量 $3\ell/\text{min}$ 、亜酸化窒素ガス流量 $2\ell/\text{min}$ に設定し、患者供給ガスの酸素濃度を測定した。測定される酸素ガス濃度は何%か。番号を解答欄 にマークせよ。[6]

- 1) 21%
- 2) 28%
- 3) 32%
- 4) 38%
- 5) 47%

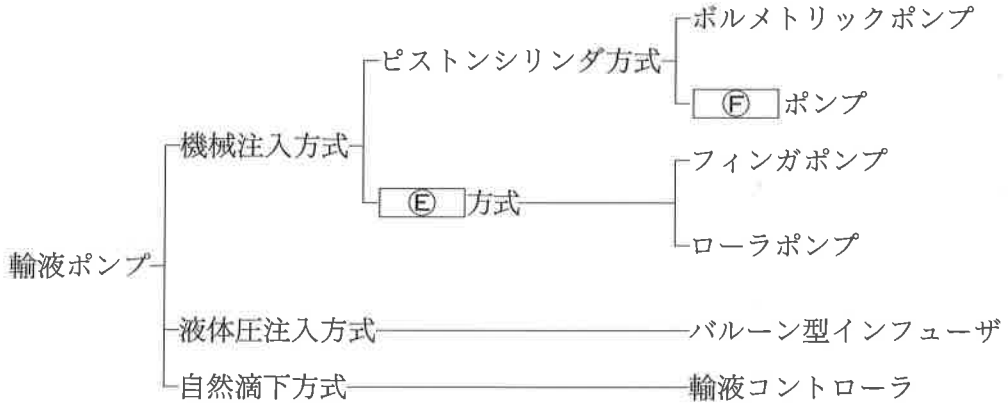
【正解】 = 4)

【解説】

酸素、合成空気、亜酸化窒素のガス流量の合計は 7ℓ であり、合成空気の酸素濃度は 22% なので

$$\begin{aligned}\text{酸素濃度} &= (2/7) \times 1 + (3/7) \times 0.22 + 0 \\ &\doteq 38\%\end{aligned}$$

【問題 22】 図は一般に使用されている輸液ポンプの、送液機構による分類を示している。図中の空欄にあてはまる方式または名称を解答欄 ， に記入せよ。[3×2=6]



【問題 23】 大動脈内バルーンポンピング (IABP) について、心臓の拡張期と収縮期に分けてバルーンの動きと心臓への効果を解答欄 に 100 字以内で記述せよ。[6]

【正解】 ⊕ = 収縮期にバルーンを収縮させ、後負荷の軽減により左室仕事量、酸素消費量の減少。拡張期にバルーンを拡張させ、大動脈基部の血圧の上昇により、冠流量を増加させる。

【解説】 大動脈内バルーンポンピング (intra-aortic balloon pumping : IABP) は、バルーン付きカテーテルを胸部下行大動脈内に留置して、患者の心電図 (あるいは動脈圧) に同期させて、先端のバルーンをヘリウム (あるいは炭酸ガス) で膨張・収縮させ、血行動態を改善するもので、以下の効果がある。

心臓の収縮期にバルーンを収縮させ、後負荷 (収縮期血圧) の軽減により、左心室の仕事量や心筋酸素消費量を減少させる (systolic unloading)。

心臓の拡張期にバルーンを拡張させ、大動脈基部の拡張期血圧の上昇により、冠動脈血流量や心筋酸素供給量を増加させる (diastolic augmentation)。

【問題 24】 腹膜透析について誤っているものはどれか、番号を解答欄 ⑬ にマークせよ。〔6〕

- a. カテーテルは腹壁を介して門脈に挿入する。
- b. 腹膜炎発症の危険性がある。
- c. 大分子量物質の除去に優れている。
- d. 抗凝固剤としてヘパリンを投与する。
- e. 除水には高濃度のブドウ糖液を用いる。

- 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】 ⑬ = 3)

【解説】 腹膜透析とはカテーテルを使って腹腔内に透析液を注入し、腹膜を透析膜として使用し、拡散と限外濾過の原理で腎毒性物質と水分を血液および周囲組織から透析液に移行させ、その後透析液を体外に排出することにより、老廃物と過剰な水分を体内から取り除く透析療法である。

- × a. カテーテルは腹壁を介して腹腔内に留置する。
- b. 最も重要な合併症として腹膜炎発症の危険性がある。
- c. 血液透析と比較して、大分子量物質の除去に優れている。
- × d. カテーテル等の器具が直接血液に触れないので、抗凝固剤は使用しない。
- e. 高濃度のブドウ糖液を使用し浸透圧差で除水を行う。

【備考】 CAPD に関する参考文献には以下のものなどがある。

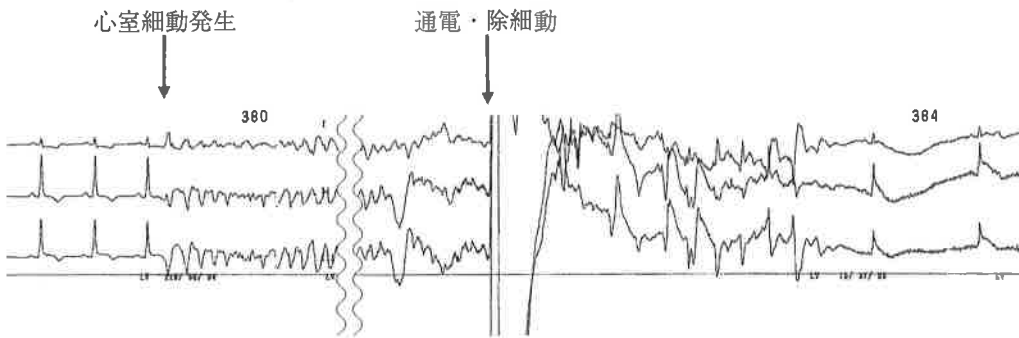
太田和雄他編：CAPD の臨床，南江堂，1984

富野康日己編：よくわかる CAPD 療法 改訂版，医薬ジャーナル社，2002

【問題 25】 適切な用語を解答群から選び、番号を解答欄 にマークせよ。

[6]

下図はモニタ付除細動器で心室細動を除細動したときのモニタ心電図である。通電直後信号は飽和して記録紙から振り切れ、その後指数関数カーブを描きながら基線に戻る。通電直後にこのような過渡現象が生じる原因は、通電電流で心電図誘導電極の二重層容量や 内の容量成分が過大に充電され、次いで一定の時定数で放電するためである。



- | | | |
|-------------|-------------|-------------|
| 1) 記録器信号入力部 | 2) 記録器電力増幅部 | 3) CRT 表示回路 |
| 4) 心電図検出回路 | 5) 内部放電回路 | |

[正解] ⑩ = 4)

[解説] 除細動すると患者に数 10 A の過大電流が流れるが、その一部が心電図誘導電極を経て心電図検出回路に流れ込む。したがって、通電直後は電極の二重層容量や検出回路に接続されているコンデンサが過大に充電されるため、心電図信号は画面や記録紙から振り切れ、その後指数関数カーブを描いて基線に戻る。通電直後は患者心電図波形を速やかに観察する必要があるため、除細動器の JIS 規格 (JIS T 1355) では、「エネルギー放電後 10 秒以内に、元の振幅の 50% 以上の大きさの心電図信号が表示部に現れなければならない」と規定している。

- × 1) 過大電流が記録器の信号入力部に流れることはない。
- × 2) 記録器の電力増幅部は信号入力部の後段にあり、たとえばサーマルプリンタの発熱抵抗体に印加する信号の電力を増幅する。過大電流は流れ込まない。
- × 3) CRT 表示回路は心電図処理回路の後段に接続されるので過大電流は流れ込まない。
- 4) 心電図検出回路は電極に直接接続され、心電図信号を導出・増幅する回路であるために、信号線に接続されたコンデンサは過大電流の一部で充電される可能性がある。
- × 5) 内部放電回路は、充電後電源を切らなかつたり、あるいは放電させなかつた場合に危険な出力が出ないように自動的に放電する回路で、モニター部とは直接つながっていない。

【問題 26】 電極の出力が直接、電流で得られるものはどれか。番号を解答欄

にマークせよ。[6]

- a. P_{CO_2} 電極
- b. P_{O_2} 電極
- c. ISFET 電極
- d. pH 電極
- e. Na 電極

- 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] 解なし (b. のみ正解)

[解説]

- × a. 水素イオン濃度 (pH) 電極は d. で述べるようにガラス電極が使用される。Pco₂ 電極は pH ガラス電極の表面にスペーサ (重曹水で浸したナイロンメッシュ) を介して CO₂ ガスを透過するテフロン半透膜で覆っている。試料中の CO₂ ガスがこの半透膜を透過するとスペーサの pH が変化する。このガラス膜の内と外の pH の変化を電圧として検出するような構造になっているものが Pco₂ 電極である。
- b. 問題 14 の選択肢 b. で述べたように Po₂ 電極は白金線の陰極部分で酸素の消費に伴う還元反応電流を検出する構造になっており、Po₂ に比例した電流を検出するので、本法をアンペロメトリック法という。
- × c. 電界効果トランジスタ (FET) のゲート電極部分を直接試料 (血液など) に接する構造にした半導体イオン電極 FET (ISFET) による pH 電極がある。MOS 型 FET のゲート絶縁膜が血液に接すると血液中のイオン濃度に伴って発生する界面電位の変化を電圧検出する電極である。
- × d. 水素イオン濃度 (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しているとき、ガラス膜の内側と外側間に pH の差に比例した電位差が生ずる。これを応用したのが pH 電極である。電位差 (電圧) を検出する方法であることからポテンシオメトリック法ともいう。
- × e. Na⁺, K⁺, Cl⁻ イオンを測定にはガラス電極やイオン選択膜電極などがある。イオン選択膜電極には固体膜型、液膜型、ガス感応膜などがある。これらは pH 電極同様参照電極に対するガラス膜やイオン感応膜電位の変化を測定している。

備考： 従って本問題は b. のみが正解であり、問題形式の誤りである。

【問題 27】 腹腔鏡下手術時の気腹に用いられる医療ガスはどれか。番号を解答欄 ② にマークせよ。[6]

- 1) 空気
- 2) 窒素
- 3) 二酸化炭素
- 4) 酸素
- 5) 笑気

【正解】 ② = 3)

【解説】 内視鏡下手術時には腹腔内が良く見えるように気腹器によって通常炭酸ガスを腹腔内に送気する。電気メス等も使用するため酸素は使用できない。また笑気は麻酔ガスである。

【選択問題1】 麻酔器に組み込まれたガス遮断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]

- 1) 呼吸回路にリークが発生したとき、ガス供給を中止して警報で知らせる。
- 2) 呼吸回路内圧が異常上昇したときに、ガス供給を停止して呼吸回路を大気圧に開放する。
- 3) 酸素の供給が不良になったとき、他のすべてのガス供給を停止する。
- 4) 流量計の誤設定で吸気酸素濃度が15%以下になったとき亜酸化窒素の供給を停止する。
- 5) 酸素フラッシュを作動させたとき、流量計からの酸素供給を停止する。

【正解】 (選1) = 3)

【解説】

- × 1) 呼吸回路のリーク、はずれなどで回路内圧が低下したときには、低圧警報装置が作動して異常を知らせるようになっている。
- × 2) 呼吸回路の閉塞や呼気弁が閉塞したままになると、回路内圧が異常に上昇し高圧警報装置が作動して異常を知らせるようになっている。
- 3) ガス遮断装置は、酸素の供給圧が低下したときに、酸素以外のすべてのガスの供給を遮断して安全を確保するための装置で、本装置は酸素警報装置が作動する前に、いずれのガスの供給圧も完全には遮断できない構造になっている。
- × 4) 麻酔中に酸素濃度の低いガスが供給された場合、それを防止するために低酸素防止装置が設けられている。
- × 5) 酸素フラッシュ作動による供給される酸素は、流量計や気化器とは別の別の回路を通り、ガス共通流出口を介して呼吸回路に運ばれる。したがって、酸素フラッシュを作動させても流量計や気化器の動きは止まらない。

【選択問題2】 人工鼻について誤っているのはどれか。番号を解答欄(選2)にマークせよ。[6]

- a. 機械的死腔が増加する。
- b. 気道熱傷は起こらない。
- c. 喀痰が多いときの加湿に適している。
- d. うつ熱が起こる可能性がある。
- e. ネブライザ使用時にはその使用を一時的に避ける。

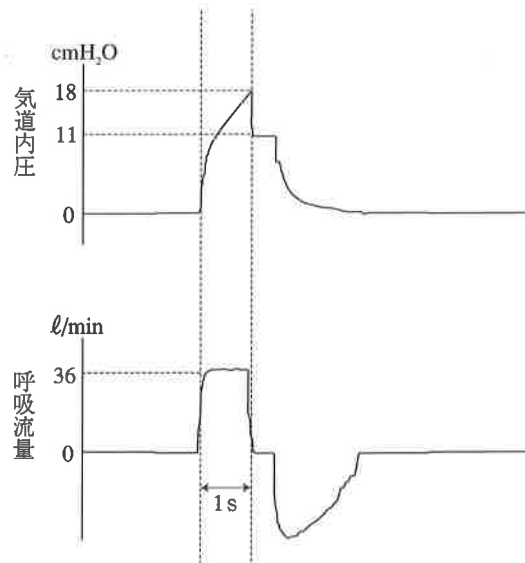
- 1) a, b 2) a, c 3) a, d 4) a, e 5) b, c
6) b, d 7) b, e 8) c, d 9) c, e 10) d, e

【正解】(選2) = 8)

【解説】

- a. 機械的な死腔は、人工鼻の持つ容積分だけ増加するので、使用については高炭酸ガス血症の場合は使用に注意する必要がある。
- b. 気道熱傷は、加温加湿器の使用時、吸気の温度制御方式の加湿器において、蒸留水の枯渇や給水時の回路短絡(バイパス)で、加湿器の水温が上昇し熱傷を起こす場合があるので、注意する必要がある。
- × c. 喀痰が多い場合は、痰が人工鼻のつまりの原因となるため、使用すべきではない。
- × d. うつ熱は、病気によるものではなく、高温などの周囲環境や放熱ができない状態を原因とするものであり、加温加湿を使用した場合は体温に関係なく、一定の加温加湿されたガスが供給されるため、うつ熱の発生を考慮しなくてはならない。しかし、人工鼻の場合は機械的な加温加湿はしないことから、発生することはない。
- e. 人工鼻は呼気中の水蒸気を吸収吸着し、吸気時にこれをまた水蒸気として、吸気ガスとともに肺に戻すため、吸気にネブライザを用いた水蒸気は、過剰な水分となりこれが空気の通り道を塞ぎ、呼吸抵抗の増大となる。また、一部の吸入薬では早期につまりの原因となるものがあるため、使用時には一時的に使用を避ける必要がある。

【選択問題 3】 下図は量規定式人工呼吸器使用中の気道内圧波形および呼吸流量波形である。この波形より動的コンプライアンスは何 $\ell/\text{cmH}_2\text{O}$ と計算されるか。番号を解答欄 **選3** にマークせよ。[6]



- 1) 0.015 2) 0.029 3) 0.033 4) 0.045 5) 0.054
 6) 0.830 7) 1.130 8) 1.045 9) 2.708 10) 3.272

[正解] 選3 = 3)

[解説]

静的コンプライアンス, 動的コンプライアンスの定義は次のとおり。

静的コンプライアンス = 1 回換気量 ÷ 気道内圧のプラトー圧

動的コンプライアンス = 1 回換気量 ÷ 最高気道内圧

動的コンプライアンスを求めるには, 図の波形より 1 回換気量を求める。

流量波形より, 流量 $36\ell/\text{min}$ は $\rightarrow 0.6(\ell/\text{s})$ なので

$$\begin{aligned} 1 \text{ 回換気量} &= \text{流量} \times \text{時間} \\ &= 0.6(\ell/\text{s}) \times 1(\text{s}) \\ &= 0.6\ell \end{aligned}$$

定義より $0.6(\ell) \div 18(\text{cmH}_2\text{O}) \doteq 0.033(\ell/\text{cmH}_2\text{O})$

【選択問題 4】 酸素濃縮器について誤っているのはどれか。番号を解答欄(選4)にマークせよ。[6]

- a. 膜型では酸素と窒素の透過度の差によって高濃度の酸素を得る。
- b. 吸着型では空気中の酸素を吸着して高濃度の酸素を得る。
- c. 使用にあたっては「酸素使用中」の表示を室内外に明示することが望ましい。
- d. 膜型では吸入流量にかかわらず、約90%の酸素濃度を得ることができる。
- e. 吸着型では加湿器を使用しなければならない。

- 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] (選4) = 6)

[解説]

現在、在宅酸素療法に一般的に用いられている酸素濃縮器の種類には、膜型と吸着型がある。また、1988年より液体酸素を用いることができるようになった。この方法は少量の液体酸素から多量の気体酸素を得ることができる利点がある。

- a. 膜型は窒素よりも酸素に対する透過性が良い高分子膜を用い、膜の一侧を減圧することにより減圧側に濃縮された酸素ガスを作り出すものである。
- × b. 吸着型は窒素を選択的に吸着するゼオライト（アルミナや珪酸を主成分とする）などの吸着剤を内蔵した1または2塔の吸着筒内に圧縮した空気を送ることによって90%までの濃縮された酸素ガスを作り出すものである。なお、ゼオライトは高圧下では窒素と同時に水分も吸着するため酸素吸入時には加湿器は必要である。
- c. 酸素使用中のトラブルのひとつに火災がある。酸素は可燃性を持つため酸素濃縮器を使用する場合には、「酸素使用中」の表示を室内外に明示することが望ましい。
- × d. 膜型酸素濃縮器は高分子膜を介して濃縮するため（aの解説を参照）、酸素のみが選択的に通過するのではなく、窒素も通過することになる。そのため膜型では40%以上の酸素濃度は得られない。また水分も通過させるために酸素吸入時には加湿器が不要である。
- e. bの解説のように、濃縮過程で水分も吸収するため、膜型とは異なり使用時には加湿器が必要となる。

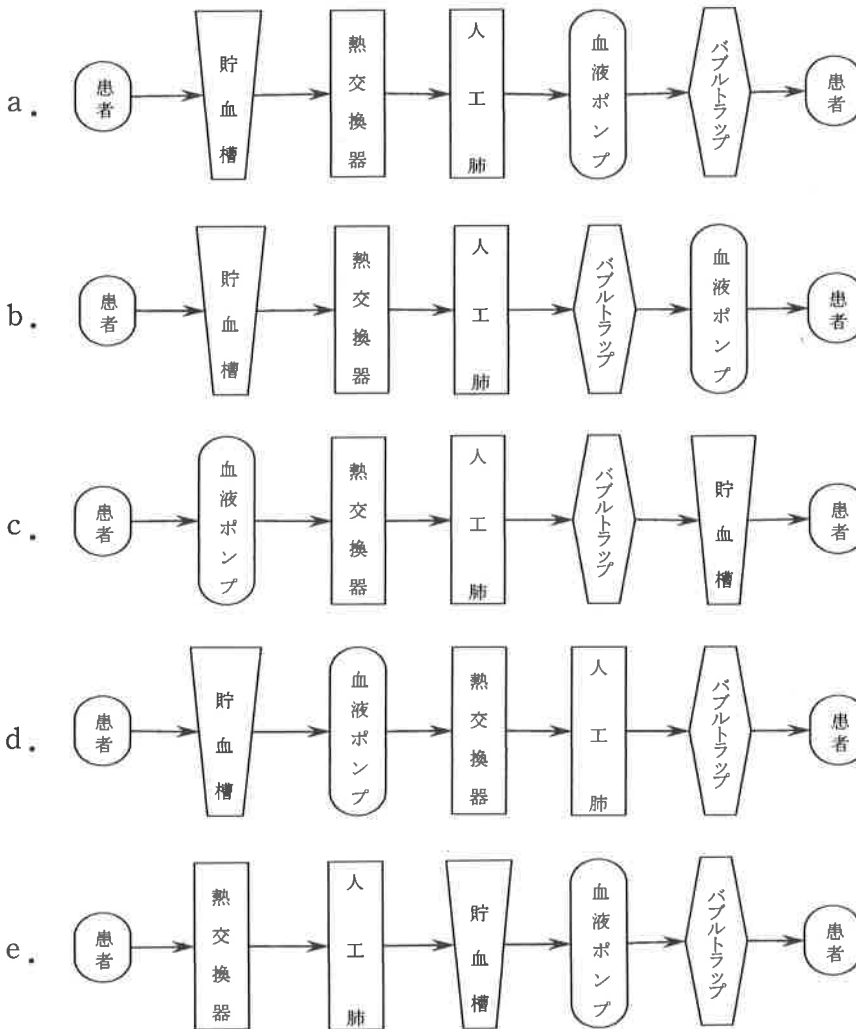
[備考]

なお、日本呼吸器学会では在宅酸素療法の適応基準（1988年に改訂）について、以下のように定めている。

- ①あらかじめ酸素吸入以外に有効と考えられる治療（抗生物質、気管支拡張薬、利尿薬など）が積極的に行われており、その後、少なくとも1ヶ月以上の観察期間を経て安定期にあり、以下の条件を満たすこと。

- ②安静，空気呼吸下で P_aO_2 が 55 Torr (mmHg) に満たない者。
- ③上記条件で P_aO_2 が 55 Torr 以上 60 Torr (mmHg) 以下でも，臨床的に明らかな肺性心，肺高血圧症（平均肺動脈圧 20 mmHg 以上），睡眠時あるいは運動時に長時間にわたり著しい低酸素症（ P_aO_2 が 55 Torr 未満あるいはこれに相当する低酸素症）となる者。

【選択問題5】 図は人工心肺装置の構成を、血液の流れに沿って示している。この中で、実際に使用されているものはどれか、番号を解答欄 **選5** にマークせよ。[6]



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

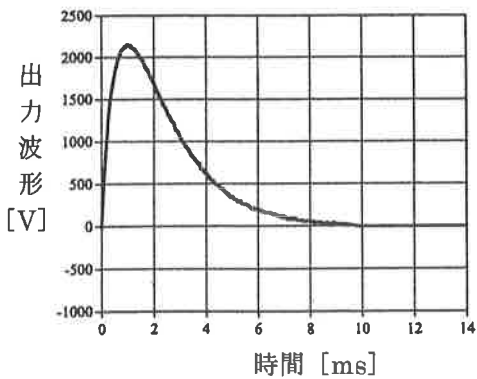
【正解】 (選5) = 10)

【解説】 人工心肺装置の血液回路は操作性や安全性の向上のため、近年一体化した構造に改良されつつある。しかし、治療目的や人工肺の構造・原理の違いにより、現在でもいくつかの異なった回路構成が用いられている。

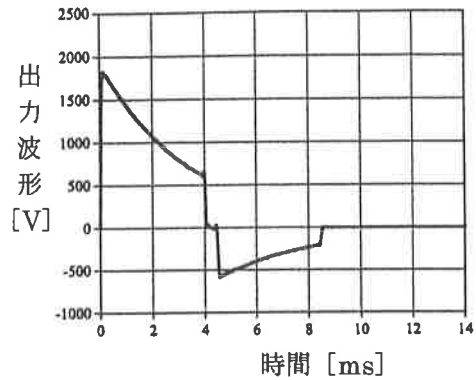
- × a. 人工肺から直接ポンプで血液を引くと、人工肺内で陰圧が発生し、気泡を混入する可能性があるため不適当。
- × b. バブルトラップは患者の直前に用いる。また、aと同じ理由で不適当。
- × c. 最後に貯血槽があると、患者に返す血流量を適切にコントロールできない。なお、最後の貯血槽がないものはPCPS用の回路で使用されることがある。
- d. 膜型肺で最も一般的に使用される構成である。
- e. 気泡型肺でよく使用される構成であるが、流路抵抗の低い膜型肺でも適用できる物がある。

【選択問題 6】 図は、単相式と2相式の体外式除細動器について、同程度の除細動効果が得られるときの出力電圧波形(負荷抵抗 50Ω)を示す。これらに関する記述で誤りはどれか。番号を解答欄(選6)にマークせよ。[6]

- a. 出力電流波形は個々の電圧波形と同じ形状を呈する。
- b. 2相式の方が内蔵のキャパシタの耐圧を小さくできる。
- c. 2相式の放電回路にはインダクタは挿入されていない。
- d. 単相式の負荷抵抗を大きくするとパルス幅は狭まる。
- e. 基線(0 V)と出力波形で囲まれた面積は出力エネルギーに比例する。



単相式除細動器



2相式除細動器

- 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] 選6 = 10)

[解説] 2相式除細動器は単相式除細動器に比べ、低いエネルギーで除細動が出来ることされ急速に普及しているが、除細動成功率、救急蘇生率、退院にまで至る患者の割合などを総合的に評価すると、明らかに2相式の優位性を示すエビデンスはない (2005 AHA Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care, Part 5: Electrical Therapies, Circulation 112: IV-35, 2005)

- a. 出力電流値は、図の出力波形の各時点の電圧値を負荷抵抗 50Ω で割れば得られるので、電流波形は電圧波形と同じ形状となる。
- b. 図から読み取れるように2相式の方が最大出力電圧を小さく出来るので、キャパシタンスの耐圧も小さくできる。
- c. 単相式には出力電圧の立ち上がりを緩やかにするためにインダクタが挿入されている。2相式では波形から分かるように出力電圧は急峻に立ち上がっており、放電回路にインダクタは挿入されていない (回路保護の目的で極めて小さなインダクタを挿入している機種もあるが、設問の主旨とは異なる)。
- × d. 出力エネルギー W は電圧波形を $v(t)$ 、負荷抵抗を R とすると、 $W = 1/R \cdot \int v^2(t) dt$ から算出される。
 W が一定の条件では、 R を大きくすると電圧波形も大きくなりパルス幅は拡大する。
- × e. 前述の式から分かるように、出力エネルギーは出力電圧波形の積分値を負荷抵抗で割らなければ求まらない。

[備考] 第10回選択問題9の解説も参照されたい。

【選択問題 7】 熱希釈カテーテルによる心拍出量測定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]

- 1) サーマルコイル(フィラメント)を用いた連続測定法では数分間の平均値をとるので応答が遅い。
- 2) 注入用側孔から右心房圧波形が得られればカテーテル位置は適正である。
- 3) ボーラス法では熱希釈曲線の積分値が大きいほど心拍出量は大きい。
- 4) 身長や体重の患者データを過大に入力すると心係数が小さく算出される。
- 5) 光ファイバを組み込んだカテーテルでは $S_{\bar{v}O_2}$ の連続測定が可能である。

[正解] (選7) = 3)

[解説] 熱希釈法には冷却液のボラス（塊）を右心房から注入して間欠的に心拍出量を計測する BCO (bolus cardiac output) 法と、血液（血流）を断続的に加温し、心拍出量 (CO) を連続的に測定できる CCO (continuous cardiac output) 法がある。

- 1) CCO では冷却液の代わりにカテーテルに組み込まれたサーマルコイルを右心室に留置し、パルス状に加熱して下流における温度変化を肺動脈に置かれたサーミスタで検出する。加熱信号と温度変化の相互相関から希釈曲線を得て CO を算出するので、測定値が 3～5 分間の平均値になり、応答が遅くなる。
- 2) BCO 用カテーテルの注入口はカテーテルの先端から約 30 cm の位置にあり、適切な位置に留置すると、注入口は右心房にあり側孔から右心房圧を観察できる。
- × 3) BCO における CO は、肺動脈血の温度変化 ΔT_b 、注入液量 V_i 、注入液及び血液の温度を T_i 、 T_b とすると、 $CO = 1.08 k V_i (T_i - T_b) \times 60 / \int \Delta T_b dt$ となるので、積分値が大きいと CO は小さくなる。
- 4) 心係数は CO を体表面積で除したもので、体重（小児あるいは成人）に関係なく心拍出量を比較検討できる。一方、体表面積 $A [\text{cm}^2]$ は体重 $W [\text{kg}]$ 、身長 $H [\text{cm}]$ とすると、例えば $A = W^{0.425} \times H^{0.725} \times 71.58$ の算出式 (Du Bois の式) があり、測定装置に組み込まれているので患者属性を入力すれば自動的に演算される。患者の体重や身長を誤って過大に入力すると A が大きくなるので心係数は小さく算出される。
- 5) カテーテル先端に光ファイバを組み込むと、直接法によるパルスオキシメトリで混合静脈血の酸素飽和度 (SvO_2) を測定できる。

【選択問題8】 シングルリード VDD 型ペースメーカーについて正しいのはどれか。
番号を解答欄(選8)にマークせよ。[6]

- a. 電極リードは心房用、心室用の2本が必要である。
- b. 自発のP波が出ない場合に使用される。
- c. P波とR波の両方を感知する。
- d. DDD型ペースメーカーに比べてP波感知能力は劣る。
- e. 心房と心室の両方を刺激できる。

- 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8) = 8)

【解説】 VDD型ペースメーカーというのは、1文字目がVなので刺激部位は心室のみ、2文字目がDなので感知部位は心房と心室の両方である。臨床的にはシングルリード（電極が1本）のVDD型ペースメーカーが多く使用されている。

× a. シングルリードなので電極リードは1本である。

× b. 自発のP波が出る場合に使用される。

○ c. 1本の電極リードで先端近くの心室壁接触部にR波感知（心室刺激）電極があり、電極リードの心房位置にP波感知電極がある。

○ d. シングルリードVDD型ペースメーカーのP波感知電極はリードの途中にあるので、心房壁との接触は不確実で、一般に感知されるP波の電位は低くなる。一方DDD型ペースメーカーは電極リードが2本でP波感知に心房専用電極を使用するので、心房壁との接触はより確実で、一般に感知されるP波の電位は高くなる。したがって、シングルリードVDD型ペースメーカーはDDD型ペースメーカーに比べてP波感知能力は劣る。

× e. 心室刺激のみで心房刺激はできない。

【選択問題9】 植込み型除細動器(ICD)について誤っているのはどれか。番号を解答欄(選9)にマークせよ。[6]

- a. 一般にペースメーカーの機能もある。
- b. 植え込み時には、実際に心室細動を発生させてテストを行う。
- c. 心室細動を感知すると0.5秒以内に通電が行われる。
- d. 必要な通電エネルギーは体外から供給される。
- e. 通電履歴は内部に記録され読み出すことができる。

- 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】(選9) = 8)

【解説】

- a. 今のICDは除細動機能のほかにペーシング機能もある。
- b. ICDの植え込み時には、実際に心室細動を発生させて、十分な除細動効果が得られることを確認する。
- × c. 心室細動を感知したあとに、通電エネルギーを内部コンデンサに充電し、もう一度心室細動状態であることを確認してから通電するので、心室細動を感知してから通電するまである程度の時間がかかる(充電時間だけでも6秒程度以上かかる)。
- × d. 必要な通電エネルギーは内蔵の電池から供給される。
- e. 通電履歴は内部に記録され、後から読み出すことができる。

【選択問題 10】 左室圧を観血式血圧計で測定した。共振現象によって収縮期血圧が異常に高く表示された。対策として有効でないのはどれか。番号を解答欄

選10にマークせよ。[6]

- 1) モニタリングラインをなるべく短くする。
- 2) 光ファイバ型トランスデューサを使用する。
- 3) 先端チップ型トランスデューサを使用する。
- 4) 高域通過フィルタを使用する。
- 5) ダンパ(ダンピングデバイス)を使用する。

【正解】 選10 = 4)

【解説】 左室にピッグテールカテーテル等を入れて左室圧を測定する場合、カテーテル、延長チューブ、三方活栓、トランスデューサドームなどで構成される血圧モニタリングラインの周波数特性により、測定される血圧波形は歪む。

- 1) モニタリングラインが長いとその影響を受けやすくなるので、ラインはなるべく短い方がいい。
- 2) 光ファイバ型トランスデューサは圧力による光の変化をファイバを通して検出する。波形歪の原因となるモニタリングラインを使用しないので、原理的に波形歪は起こり得ない。
- 3) 先端チップ型トランスデューサは直接左室内にセンサ部を入れ、波形歪の原因となるモニタリングラインを使用しないので、波形歪は起こり得ない。
- × 4) 除去したい信号成分は高域にあるので、高域通過フィルタの使用は不適切である。また、波形歪を電気的なフィルタで補正するのは一般的な方法ではない。
- 5) ダンパは血圧モニタリングラインの物理的な特性による血圧波形歪を物理的に補正するものである。測定系に合わせて適正に調整する必要があるが十分有効な方法である。

【選択問題 11】 PTCA は最近 POBA (plain old balloon angioplasty) と呼ばれている。POBA およびステントについて誤っているのはどれか。番号を解答欄

選 11 にマークせよ。[6]

- a. ステントの材質の多くはステンレスである。
- b. 薬剤溶出ステント留置後の再狭窄は起きにくい。
- c. 留置ステントの位置確認には MRI 検査が必須である。
- d. POBA のバルーン拡張圧は 30～50 気圧である。
- e. POBA のバルーン拡張時間は 30～60 秒程度である。

- 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11) = 8)

[解説] 新しいデバイスの導入により、バルーンによる拡張法 (PTCA: percutaneous transluminal coronary angioplasty) 以外の経皮的冠動脈形成術が行われるようになった。そのため経皮的冠動脈形成術を総称して PCI (percutaneous coronary intervention: 冠動脈インターベンション) と、また、PTCA は POBA (plane old baloon angioplas) と呼ぶようになった。PCI には POBA のほか、ステント (stent)、DCA (directional coronary atherectomy)、ロータブレータ (rotational coronary atherectomy) などがある。

- a. 記述の通り。ステントに用いられる一番多い材質はステンレススチールである。ステンレススチールとは 13%以上の Cr を含んだ鋼のことで、大別して Cr 系と Cr・Ni 系とがあるが、ステントには SUS 316 L ステンレス (18 Cr-12 Ni-2 Mo-LC) と呼ばれる耐食性、耐粒界腐食性の高いものが用いられる。その他にはタンタルム、ニッケルチタン合金や PTFE などをサンドイッチした複合型のものもある。
- b. 記述の通り。局所的に薬物を投与し慢性期の内膜増殖を抑制し再狭窄を防ぐ効果がある。耐血栓物質、免疫抑制薬、抗癌剤などがコーティングされている。
- × c. 留置ステントも位置確認は血管造影や、IVUS (intravascular ultrasound: 血管内超音波) により行われる。
- × d. POBA のバルーン拡張圧はおよそ 3~6 気圧である。
- e. 記述の通り。この間冠血流が遮断されるので、胸痛の出現、心電図変化、血圧の低下が認められる。強い変化が認められたときは直ちにバルーンを縮小し、ガイディングカテーテル内に引き戻さなければならない。

【選択問題 12】 ある心電計の性能を調べたら次のようであった。不適切なのはどれか。番号を解答欄(選12)にマークせよ。[6]

- 1) 直流患者測定電流：10 μA
- 2) 入力インピーダンス：6.5 $\text{M}\Omega$
- 3) 最小検知電圧：15 μV
- 4) 同相抑圧比：96 dB
- 5) 除細動器印加後の回復時間：9 秒

【正解】(選12) = 5)

【解説】心電計の性能は、試験法を含めて JIS T 1202 (1998 年) に規定しているので一度これを見ておくとよい。またこの中から性能規格の要点を抜粋し、本講習会テキストにも示しているのも参考にしていただきたい。

○1) 直流患者測定電流：0.1 μA

JIS T 0601-1(1999)では CF 形の場合、マイクロショックの対策から直流患者測定電流を 10 μA と定めているが、心電計の個別規格 (JIS T 1202, 以下 JIS と記す) では、さらに心電計の安全を強化する意味から 0.1 μA と定めている。また 0.1 μA とした理由には、電極接触インピーダンスの上限値を 620 $\text{k}\Omega$ と想定しているのもこの不正出力 (オフセット電圧 = 0.1 $\mu\text{A} \times 620 \text{ k}\Omega = 62 \text{ mV}$) の変動 (基線の動揺) を極力抑える意味も含まれているとも考えられる。

○2) 入力インピーダンス：6.5 $\text{M}\Omega$

JIS で 2.5 $\text{M}\Omega$ 以上と定めているので 6.5 $\text{M}\Omega$ あればよい。なお、2.5 $\text{M}\Omega$ 以上とした理由は、1) と同様に電極接触インピーダンスを 620 $\text{k}\Omega$ と想定した場合、これによる出力振幅の減衰を 80% 以内に抑えるためである。

○3) 最小検知電圧：15 μV

これも JIS で 35 $\mu\text{V}_{\text{p-p}}$ 以下と定めているので 15 μV であればよい。正

確には、選択肢の $15\ \mu\text{V}$ を $15\ \mu\text{Vp-p}$ と記すべきであった。

○ 4) 同相抑圧比：96 dB

JIS の測定方法から、心電計の同相抑圧比は約 89 dB 以下（第 9 回午後の部選択問題 16 の解説）であればよいとしている。

× 5) 除細動器印加後の回復時間：9 秒

心電計を患者につないだ状態で除細動器を使用すると、除細動器による高電圧が人体を介して心電計の入力に加わり、心電計の回路を破損したり、長時間に亘って不安定な動作（記録ペンの振り切れ）を起こす可能性がある。そこで、JIS では除細動器を併用する心電計には過大入力に対する保護対策を要求し、下記の規格を定めている。

「指定した測定回路を用い、除細動を模擬した高電圧パルスを加えた後 5 秒以内に他方より加えた 10 Hz, 1 mVp-p が、記録紙上に正規振幅（10 mm）の 80～110% で記録されること」

【選択問題 13】 人工心肺による体外循環中の操作で正しいものはどれか。番号を解答欄(選13)にマークせよ。[6]

- a. 遠心ポンプによる体外循環の開始では回転数を0から徐々に増加させる。
- b. 人工心肺運転中に P_aCO_2 が高くなったときは酸素ガス流量を減らす。
- c. 心筋保護液注入圧の上昇時には回路の屈曲や活栓の状態を点検をする。
- d. 大量輸血では低カルシウム血症に注意する。
- e. 体内電極による心室細動除去は 200 J 程度で行う。

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

[正解] (選13) = 8)

[解説]

人工心肺操作の基本的な問題である。

- × a. 遠心ポンプの操作では、回転数が低い場合ロータリーポンプのようにチューブが圧閉されていないので、送血されずに血液が逆流するため、送血を行う場合チューブを鉗子で閉鎖し、遠心ポンプの回転数を上げ（通常動脈送血では1000回転以上）生体の血圧より高い状態として、鉗子を開きながら回転数を調節し送血を開始する。よって、回転数が0では送血できないので間違い。
- × b. P_aCO_2 が高い状態は、換気が不十分であり、人工肺より CO_2 ガスが排出されない状態である。よって、 P_aCO_2 の高い状態では酸素ガス流量を多くして、 CO_2 ガスの排出を促進させることが重要で、ガス流量を減らすのは間違い。
- c. 心筋保護液の注入においては、カニューレの先端の先あたりや、途中でのチューブの屈曲はときどき経験する問題である。このような場合は、過大圧による冠状動脈乖離等重篤な状態を引き起こすことがあるので注意を要する。
- d. 大量輸血においては、低カルシウム血症になりやすいため、塩化カルウム等の薬剤投与をすることがある。
- × e. 刺激伝導系を含む心筋組織のインピーダンスは体表より大きく異なり、体外通電においては、一般的に200Jで問題ないと思われるが、開心術等において直接体内電極（体内パドル）における通電では、1/10の20J前後を目安にし、状況により変化しながら使用するのが一般的である。体内電極で200J通電は、火傷となり心筋が非可逆性変化を起こすため、絶対に避けなければならない。

【選択問題 14】 血液透析濾過療法を、血液流量 $Q_B = 200 \text{ m}\ell/\text{min}$ 、実施時間 $t_D = 4 \text{ h}$ 、総補液量 $V_S = 10 \ell$ 、除水目標量 $V_F = 6 \ell$ の条件で、後希釈法により濾液速度および補液速度一定で実施している。患者のヘマトクリットが 30.0%であったとき、患者に返される血液のヘマトクリットは何%か。番号を解答欄 **選 14** にマークせよ。[6]

- 1) 30.0
- 2) 32.7
- 3) 34.3
- 4) 37.9
- 5) 45.0

【正解】 **選 14** = 3)

【解説】 濾液速度、補液速度が一定なので、目標除水量分が血液から一定に除去されることになり、1 分間では

$$\frac{6 \times 1000 [\text{m}\ell]}{4 \times 60 [\text{min}]} = 25 [\text{m}\ell/\text{min}]$$

の血漿が除去されているのと同じことになる。また、血球成分の量は変化しないので、求めるヘマトクリットは

$$\frac{1 \text{ 分当たりの血球成分量}}{1 \text{ 分当たり返血される血液量}} = \frac{200 \times 0.3}{200 - 25} = 0.3428$$

で 34.3%となる。

【選択問題 15】 ダイアライザの UFR(限外濾過率)を求めるため、限外濾過法を用いて濾液量の測定を行い、血液側入口圧 100 mmHg、出口圧 60 mmHg において、1 分間に 52 ml の濾液量を得た。このときの UFR は何 ml/(hr・mmHg) か。その番号を解答欄 **選 15** にマークせよ。[6]

- 1) 31
- 2) 39
- 3) 52
- 4) 78
- 5) 156

【正解】 **選 15** = 2)

【解説】

TMP は

$$\frac{\text{血液側入口圧} + \text{血液側出口圧}}{2} = \frac{100 + 60}{2} = 80 [\text{mmHg}]$$

UFR は

$$\frac{60 \times \text{濾液側出口流量}}{\text{TMP}} = \frac{60 \times 52}{80} = 39 [\text{ml}/(\text{hr} \cdot \text{mmHg})]$$

【選択問題 16】 ベッドサイド型人工膵臓について、誤っているものはどれか。
その番号を解答欄(選16)にマークせよ。[6]

- a. 血糖値の測定にグルコースオキシダーゼ酵素を用いる。
- b. グルコースセンサには過酸化水素電極が用いられる。
- c. 血糖値の測定は30分に1回程度の頻度で間欠的に行う。
- d. 血糖値が基準値より低下した場合にインスリンを注入する。
- e. インスリン抵抗性の評価が可能である。

- 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16) = 8)

【解説】 ベッドサイド型人工膵臓は、機能不全になった膵臓のランゲルハンス島の機能を代行するもので、血液中のブドウ糖濃度の変化を測定するセンサ、インスリンおよびブドウ糖の注入量を決定するコンピュータシステム、それを体内に注入するポンプを結合した装置である。

- a. グルコースをグルコン酸と過酸化水素に分解するためにグルコースオキシダーゼ酵素が用いられる。
- b. 過酸化水素電極を利用したグルコースセンサが使用されている。
- × c. 血液を2 ml/h程度連続的に採血して、血糖値を連続測定している。
- × d. 血糖値が基準より低下した場合はブドウ糖を注入し、基準値より上昇した場合はインスリンを注入する。
- e. 治療の方針を決定するためなど、必要に応じてインスリン抵抗性等の検査に使用することができる。

【選択問題 17】 血液透析用の水処理装置において、除去装置と除去できる物質の組み合わせで不適当なものはどれか。解答欄(選17)にマークせよ。[6]

- a. 軟水装置——遊離塩素
- b. 活性炭濾過装置——ナトリウム
- c. RO 装置——アルミニウム
- d. UF フィルタ——パイロジェン
- e. 除鉄装置——マンガン

- 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] (選17) = 1)

[解説] 通常人の水分摂取量は15ℓくらいである。しかし、血液透析患者は週に450ℓもの大量な透析液が半透膜を介して血液と接触している。従って、水道水でも無処理で透析液作成に使用すると、有害効果が発生する危険性がある。特に透析性能に優れたハイパフォーマンス膜血液浄化器を多用する傾向になっており、透析液用水の純化は重要視されなくてはならない。水処理システムの構成は施設で使用される上水の水質により選択されることが望ましい。

× a. 軟水装置

陽イオン樹脂を用い、カルシウムやマグネシウムをナトリウムと置換する。

× b. 活性炭濾過装置

活性炭を利用した吸着濾過装置である。遊離塩素、クロラミンの除去を目的とする。

活性炭自体は有機物、パイロジェンの除去するが、装置内部で微生物が繁殖してしまうため定期的な交換が必要になる。

○ c. RO 装置

原水に圧力を加えることで半透膜を通過させる逆浸透の原理を利用している。

溶解イオンの95%、細菌やパイロジェンについてはほぼ除去することが可能となっている。

○ d. UF フィルターパイロジェン

○ e. 除鉄装置鉄、マンガンを除去する。

【選択問題 18】 濾過がないときのダイアライザのクリアランス K は次式で定義される。

$$K = Q_B \times E$$

Q_B を血流量とすると E は何を表すか。番号を解答欄(選18)にマークせよ。

[6]

- 1) 透析液流量
- 2) 膜面積
- 3) 溶質の除去効率
- 4) ふるい係数
- 5) 総括物質移動膜面積係数

【正解】 (選18) = 3)

【解説】 ダイアライザなどの血液浄化器の溶質除去能を表す指標であるクリアランスに関する問題である。ダイアライザ血液入口側，出口側溶質濃度をそれぞれ C_{BI} ， C_{BO} とすると， E は次式で定義される。

$$E = 1 - C_{BO} / C_{BI}$$

従って，その意味は血液がダイアライザを通過する際の溶質の除去効率を示している。

【選択問題 19】 デジタル脳波計の取り扱いについて正しいものはどれか。番号を解答欄(選19)にマークせよ。[6]

- a. 記録データの多目的使用のためにはフィルタ帯域をできるだけ広帯域にセットする。
- b. システムレファレンス電極は頭部以外に装着する。
- c. 耳垂や頭皮上電極部位の脳波を全て導出すれば任意の誘導を再生できる。
- d. 差動増幅器の中性点電極とシステムレファレンス電極を共用する。
- e. 記録後には加算平均処理を行うことはできない。

- 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

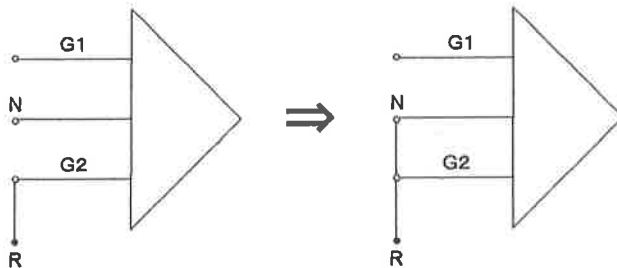
【正解】(選19) = 2)

【解説】 デジタル脳波計は従来のペーパー記録型の脳波計と異なり、脳波計測が終了後でも種々の導出法に組み替えることが可能であり、またフィルタや感度も変えられる利点がある。このためにはアナログ信号をデジタル信号に変換して光ディスクに格納し記録しておくことが必要である。こうすることで記録媒体として光ディスクを用いることにより膨大な従来の紙記録による保管スペースの節約と計測後のデータ処理も可能である。

- a. 記録データは記録の始めにできるだけ広帯域でフィルタ設定をしておかないと記録後の種々のフィルタ処理ができない。例えば記録始めに時定数を0.1秒で記録してしまうと後で0.3秒とした場合の記録を見ることができない。
- × b. デジタル脳波計では最初に筋電図などの雑音が混入しにくい部位を基準に耳垂を含めて頭部の全電極部位の脳波を記録する。このように雑音の混入しにくい部位の記録基準点電極をシステムレファレンス電極という。一般に頭部以外の部分は体動や大きな心電図雑音が混入し易いため、システ

ムレファレンス電極部位としては不適である。

- c. システムレファレンス電極 (R) を基準として耳垂 (E) と頭皮上電極 (例えば C3 と P3) 部位の脳波電位はそれぞれ最初に (E-R), (C3-R), (P3-R) の脳波を導出しておけば, 前述したように記録終了後でも単極誘導や双極誘導を自由に再生することができる。すなわち $(C3-R) - (E-R) = C3-E$ を後で計算することで単極誘導が, また $(C3-R) - (P3-R) = C3-P3$ の双極誘導が得られる。
- × d. 下図に示すように差動増幅器の中性点電極 (N) とシステムレファレンス電極 (R) を共用する (N と R を接続する) と差動増幅器の入力は平衡入力とはならず交流雑音の入りやすいシングル入力となる。
- × e. 加算トリガ信号を脳波記録と同時に記録しておけば, メモリ媒体内の脳波デジタル信号の再生により何回でも加算平均処理ができる。



【選択問題 20】 脳磁計に用いられている SQUID 磁束計について誤りはどれか。
番号を解答欄(選 20)にマークせよ。[6]

- 1) 検出コイルは SQUID に超伝導状態で結合している。
- 2) 軸型グラジオメータは周囲の磁気雑音除去に有用である。
- 3) 検出コイルと SQUID は液体ヘリウム容器内にある。
- 4) 軸型グラジオメータは二つのコイルを互いに逆向きに接続されている。
- 5) 平面型グラジオメータは周囲の磁気雑音除去には適さない。

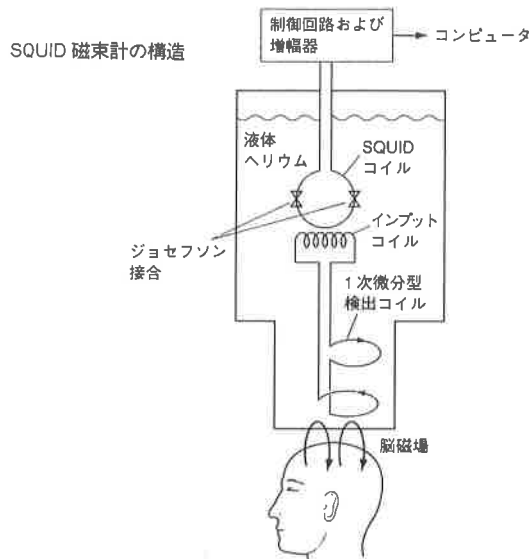
【正解】(選 20) = 5)

【解説】 生体に生ずる磁界は地磁気の 100 万分の 1 以下と非常に微弱であるため、周囲に存在する磁気雑音を打ち消すような磁界検出コイルの配置と高感度化が必要である。そのための磁界検出素子には超伝導 SQUID (超伝導量子干渉素子) がある。磁界検出用コイルには検出コイルが同軸上に平行に配置された軸型と検出コイルが同一平面上に並列に配置された平面型がある。

- 1) SQUID の本体は超伝導体であるリングである。リングの一部にジョセフソン接合部をもっており、このリングに電流を流しておき検出コイルによって検出された磁界がリングの中に入ると大きな電圧がリング両端に出力される構造になっている。したがって検出コイルは図に示すように SQUID に超伝導状態で結合している。
- 2) 2 つの磁界検出コイルは同軸上に平行に配置されているが、周囲の磁界によってコイルに生ずる電流が互いに打ち消しあう方向に巻かれている (図参照)
- 3) リングはジョセフソン効果をもたらすために、また検出コイルの雑音をできるだけ少なくするために、検出コイルと SQUID は液体ヘリウム容器内にある。
- 4) 2) 項で述べたように周囲から混入してくる同相の磁気雑音を互いに逆向きにまかれたコイルによって生じた電流を打ち消すように接続されている。

二つのコイルが逆向きになっていることで、生体からの信号磁界はお互い逆向きのコイルに発生する電流の差として検出される結果大きな信号として検出することができる。

- × 5) 平面型も平面上に2つのコイルによって、周囲の遠方から同相で混入する磁気雑音の除去に役立つ。磁界発生源である電流源が平面型コイルの直下にある時は2つのコイルに逆向きの磁界が生じるため2つのコイル間には大きな電流が出力される。



【選択問題 21】 光トポグラフィについて誤りはどれか。番号を解答欄 **選 21** にマークせよ。[6]

- 1) 大脳皮質の機能マッピングが可能である。
- 2) 照射と受光素子を1対にしたプローブを多数用いる。
- 3) オキシ，デオキシの両ヘモグロビンの濃度変化を見ている。
- 4) 神経細胞活動に因る2次的変化を捉えている。
- 5) 紫外光と近赤外光の2波長が用いられる。

【正解】 (選 21) = 5)

【解説】 光トポグラフィは現在脳の機能を画像化する装置として PET, fMRI と並んで臨床に普及しつつある。基本的には脳神経が活動すると 2 次的に生ずる脳血液量の変化に伴って生ずるオキシヘモグロビンやデオキシヘモグロビンおよびトータルヘモグロビンの赤外線吸光量の違いを表示する装置である。

- 1) 頭皮上に近赤外光の照射と受光を一对としたプローブを多数 (例えば 48 チャンネル) 装着して、指を動かす動作, あるいは計算や思考などのタスクを与えることによって脳のどの部分が働いているか (機能しているか) を測定することが可能である。
- 2) 近赤外光は可視光とは異なり皮膚や骨を容易に透過するので、頭皮上から光ファイバを介して投射された近赤外光は脳組織内に拡散する。その結果照射部より 20~30 mm 離れた受光部では深さ約 20 mm 付近の大脳皮質部分からの乱反射光を受光していることが知られている。光トポグラフィではこのような照射と受光を一对としたプローブを 1) 項で述べたように多数用いる。
- 3) 脳神経細胞が興奮 (脱分極) することによる血流量の増加や脳細胞の酸素消費に伴うオキシ, デオキシの両ヘモグロビンの濃度変化と直接計測している。
- 4) 脳神経細胞活動の 1 次的な変化を測定しているものに脳波や脳磁図があるが、本法は脳活動に伴って 2 次的に生ずる血流量の変化と両ヘモグロビン濃度の変化を計測している。
- × 5) 紫外光は頭皮の角質層や頭蓋骨をほとんど透過しないので、本装置では使用されていない。近赤外光のみが用いられている。脳機能計測用として現在よく使われる近赤外光は波長 830 nm と 780 nm 付近の 2 波長である。

【選択問題 22】 内視鏡に関する記述で、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) 腹壁と胃内部をつなぐ胃瘻栄養チューブは内視鏡を使って留置できる。
- 2) 早期胃癌の治療では、内視鏡下で粘膜を剥ぎ取ることができる。
- 3) 血管内内視鏡は消化管内視鏡よりも高画素である。
- 4) 内視鏡下手術で Nd : YAG レーザを用いる場合、保護用の眼鏡は必要でない。
- 5) 電子スコープの先端には CCD が装着されている。

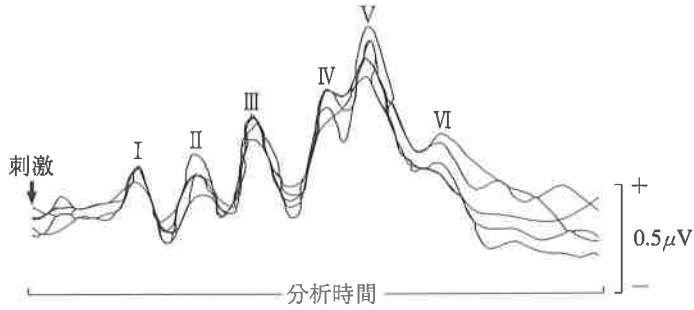
【正解】 〔選 22〕 = 3)

内視鏡に関する問題

- 1) ○ 嚥下困難な患者に経鼻栄養を行うが、腹壁と胃内部をチューブでつなぎ栄養を直接胃内部へ流し込むバイパスを胃瘻と呼んでいる。
- 2) ○ リンパ節転移のない早期癌（胃粘膜表面に留まっている癌）は内視鏡で粘膜を剥離する手術が外来レベルで行われている。内視鏡的粘膜下層剥離術（ESD : Endoscopic Submucosal Dissection）や、内視鏡的粘膜切除術（EMR : Endoscopic mucosal resection ; ）などの方法がある。
- 3) × 血管内内視鏡は、細くつくる必要があるので、一般にファイバースコープが用いられる。直径が数ミリ以上ある消化管内視鏡の電子スコープには画像素子が装着され画素数は、血管内内視鏡の約 100 である。
- 4) ○ Nd : YAG レーザはガラスで吸収されるので保護用の眼鏡でなくても良い
- 5) ○ 電子内視鏡の先端には CCD が装着されている。

【選択問題 23】 下図に聴性脳幹反応(ABR)の記録を示す。記録に使用される周波数帯域と分析時間の組み合わせはどれか。番号を解答欄 **選23** にマークせよ。

[6]



- | 周波数帯域 [Hz] | 分析時間 [ms] |
|--------------|-----------|
| 1) 0.5 ~ 300 | 5.0 ~ 10 |
| 2) 0.5 ~ 300 | 10 ~ 15 |
| 3) 0.5 ~ 300 | 15 ~ 20 |
| 4) 20 ~ 2000 | 10 ~ 15 |
| 5) 20 ~ 2000 | 15 ~ 20 |

[正解] (選 23) = 4)

[解説] クリック音刺激によって大脳に生ずる聴覚誘発電位は 50～300 ms の潜伏時を持つが、大脳聴覚野に至る過程で必ず脳幹の聴覚路を通る。本問題は大脳に興奮が至る 50 ms 以前の脳幹伝導路の各中継核に由来する聴覚脳幹反応 (ABR) の分析時間と脳幹におけるこれらの中継核電位波形の周波数成分を得るための増幅器に必要な周波数帯域について聞いている。クリック音刺激後に蝸牛神経に由来する電位 (I 波)、蝸牛神経核電位 (II 波)、上オリーブ核電位 (III 波)、外側毛帯付近の電位 (IV 波)、下丘電位 (V 波)、内側膝状体電位 (VI 波) などが約 8 ms 以内に耳垂と中心頭頂部間の導出によって検出することができる。従って図では 10 ms 程度の分析時間が必要であり、あまり長い分析時間では I～VI 波の各波の間隔が視覚的に見ずらくなる。通常 I～VI 波までの波形が CRT 上にいっぱいに入れて入る程度の分析時間が見やすい。また各波は正常で約 1 ms 前後の潜伏時差を持って出現するから、これを周期として考えても 1000 Hz 以上は必要であり、通常の ABR 記録に必要な増幅器の周波数帯域は低域遮断周波数 10～20 Hz、高域遮断周波数 2000～3000 Hz が用いられる。

【正解】 (選25)=10)

【解説】 音波が媒質を伝搬する場合、本来非線形であるがその非線形成分が微量であるため通常は線形として扱われてきた。近年の技術革新によりこの微量な非線形成分を利用した新しい手法が開発され、医用超音波の分野ではハーモニックイメージング (harmonic imaging : 非線形音響イメージング) として利用されている。ハーモニックイメージングでは、線形伝搬を仮定した無限小振幅超音波ではなく、有限振幅超音波として超音波を扱い、超音波の伝搬に伴って波形が歪み、それに伴い発生する高調波 (ハーモニック, 基本波の周波数の整数倍にあたる波) 成分を画像化する。画像化する信号の種類によりティッシュハーモニックイメージング (tissue harmonic imaging, 組織非線形音響イメージング) と造影ハーモニックイメージングの二つに分けられる。前者は超音波が組織を伝搬するときに組織自身から発生する高調波を画像化するものであり、後者は超音波造影剤である微小気泡が共振、崩壊するときに発生する高調波を画像化するものである。代表的な2次高調波成分の映像化方法にはフィルタ法と位相反転法の二つの方法がある。

ハーモニックイメージング利点と欠点には以下のようなものがある。

- 利点 多重反射の影響が少ない。
 サイドローブが減少し方位分解能が改善する。
 コントラスト分解能が改善する。
- 欠点 距離分解能が低下する (フィルタ法)。
 時間分解能が低下する (位相反転法)。

小論文試験問題

医療機関として質の高い医療を効率的に提供するためには、医療機関が自らの機能を評価し改善・向上を図るとともに、第三者による評価も重要となる。(財)日本医療機能評価機構は病院機能評価のための評価項目を公開しているが、医療機器・システムに関する評価項目には以下のようなものがある。

そこで、あなたが医療機器管理部門の運営を任された場合、評価項目に沿った管理体制を確立するためにどのような対策を考えればよいか、3つの評価項目を選び、800字以上1200字以内にまとめよ。

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]

医療機器・システムに関する評価項目

- 1) 医療機器の管理が明確で、点検が定期的に行われている。
- 2) 医療機器の補修をする仕組みが整えられている。
- 3) 医療機器の管理の中央化がなされている。
- 4) 医療機器の標準化が図られている
- 5) 必要な教育・研修が実施されている。

第1種ME技術実力検定試験問題解説集（第11回）

発行日 2006年3月25日 初版発行
2007年3月25日 第2版発行◎

監修 (社)日本生体医工学会
ME技術教育委員会

編集・発行 (社)日本生体医工学会
第1種ME技術実力検定試験
講習会・テキスト作成委員会

制作 〒113-0033 東京都文京区本郷2-39-5
片岡ビル3F
ME技術教育委員会
TEL：03-3813-5521

印刷 (株)平文社

本書の内容の一部あるいは全部を無断で複写複製（コピー）することは、
法律で認められた場合を除き、著作者および作成委員会の権利の侵害と
なりますのでその場合には予め本会にて許諾を求めてください。

(禁無断転載)