

【問題1】 地面に対し、風が10 m/sの速さで吹いているとき、振動数3 kHzの発音体が風上に向かって、地面に対し20 m/sの速さで動いているものとする。いま発音体より風下にいる人がさらに風下に向かって時速18 kmの速さで走っているとき、この人の観測する振動数は  Hz となる。空欄にあてはまる数値を解答欄  に記入せよ。ただし、音速は340 m/sとし、有効数字2桁まで求めるものとする。[4]

【正解】 ④ 2800(または  $2.8 \times 10^3$ )

【解説】 ドプラ効果に関する問題である。音源が動いたり、観測者が動いたりすると、観測される音の振動数は、音源から出る音の振動数とは異なってくるが、この現象をドプラ効果という。

ドプラ効果によると、振動数  $f_0$  の音源が速度  $u_s$  で、観測者が速度  $u_o$  で一直線を同じ向きに動く場合の振動数  $f$  を求めると、音速を  $c$  とした場合、(1)式のようになる。

$$f = f_0 \cdot (c - u_o) / (c - u_s) \quad (1)$$

いま、この設問において発音体の音速は340 m/sであるが、発音体の風下にいる観測者に対する音速は、風が10 m/sの速さで吹いているため、 $340 + 10 = 350$  (m/s)となる。そこで、上に示した(1)式において、 $f_0 = 3000$  (Hz)、 $c = 350$  (m/s)、 $u_s = 20$  (m/s)、 $u_o = 18$  (km/h)  $= 5$  (m/s)とし、さらに発音体の移動方向が観測者と反対であることを考慮して、この式に代入すると、

$$f = 3000 \times (350 - 5) / (350 + 20) = 2797 \text{ (Hz)}$$

となるが、有効数字2桁まで求めることになっているため、答えは2800 (Hz)となる。

【問題2】 誤っているのはどれか。番号を解答欄  にマークせよ。[4]

- a. 音のエネルギーは音圧の2乗に比例する。
- b. 音がガラスを伝わる時、ガラスは横波を伝えることはできない。
- c. 星の光のスペクトルを観測することにより、その星が地球に近づいているかが分かる。
- d. 光が水から空気に出ていくとき、入射角が臨界角を越えると全反射を生じる。
- e. 大きく高い建物の裏側でも、表側からの音がよく聞こえるのは音の屈折による。

- 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】 ① 7)

【解説】 音と光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誤っているかどうかを見てみる。

- a. 音のエネルギーは音圧の2乗に比例するから正しい。
- × b. ガラスは音波のような縦波および横波を伝えることができるので、誤りである。
- c. 星が地球に近づいておれば、星の持つ原子から出る光の振動数がドプラ効果により大きくなる(波長は短くなる)ことから、星の光の波長ごとの強度を示すスペクトルを観測すればよい。
- d. 光が水から空気のように、光学的に密な物質から疎な物質に出て行くときは、屈折角は入射角より大きくなるが、ある入射角 $\phi$ に対して屈折角がほぼ直角なり、入射角が $\phi$ 以上になると、光はすべて反射する全反射という現象を生じ、 $\phi$ を臨界角と称する。
- × e. 建物の裏側でも表側からの音がよく聞こえるのは、音の回折によるもので

第17回午前の部

ある。音波の波長は大きく、普通の物体の大きさと同程度であるため、音では回折現象が生じやすい。  
以上より、正解は7)である。

【問題 3】 下記の文中の空欄に入る適当な語句を解答欄  ～  に記入せよ。

- a.  とは酸やアルカリを添加しても pH を変化しにくくさせる作用である。[3]
- b. アミノ酸のようにカチオンになる官能基(例, アミノ基)とアニオンになる官能基(例, カルボキシル基)の両方をもつ化合物で, 電荷の総和が 0 となる pH を等電点といい, 等電点よりも pH が高いと  に帯電する。  
[3]

【正解】  緩衝  マイナス

【解説】 緩衝と等電点に関する問題である。

- a. リン酸溶液のように, 弱酸とその共役塩基からなる水溶液に多少の酸や塩基が加えても pH はほとんど変動しない。このような溶液を緩衝液といい, pH を変動させないこのような作用を緩衝という。
- b. アミノ酸のようにカチオン基とアニオン基を併せ持つ両性電解質において, プラスとマイナスの電荷が丁度等しくなる時の pH を等電点という。等電点より pH が低くなると周囲の  $H^+$  を取り込みプラスに帯電し, 逆に pH が高くなると  $H^+$  を放出してマイナスに帯電する。

【問題4】 体重60kgの患者に5%NaCl 100mlを血液中に注入した場合、浸透圧濃度[mOsm/l]はおおよそどれだけ上がるか。それぞれ正しいものを解答欄②～④にマークせよ。ただし、Na、Clの原子量をそれぞれ23、35.5とする。

(1) 5%NaCl 100mlに存在するNaClはおおよそ②gである。[2]

1) 0.5    2) 1    3) 5    4) 10    5) 50

(2) 5%NaCl 100mlに存在するNa<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>はそれぞれ③mmolである。

ただし、NaCl → Na<sup>+</sup> + Cl<sup>-</sup>への電離度は100%とする。[2]

1) 9    2) 17    3) 43    4) 85    5) 171

(3) 浸透圧濃度はおおよそ④mOsm/l上がる。ただし、注入したNaClは細胞外液中に分布するものとする。[2]

1) 5    2) 7    3) 14    4) 21    5) 37

【正解】 ② 3)    ③ 4)    ④ 3)

【解説】

(1) 血漿のように溶媒が水であれば%濃度は[g/dl]にほぼ等しい。1dl = 100mlであるから5%NaCl 100mlに存在するNaClは次式で算出される。

$$5 \times (100 / 100) = 5 \text{ g}$$

(2) モル数は質量を分子量で除したものの定義される。5%NaCl 100mlに存在するNa<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>は次式で算出される。

$$(5 \times 1000) / (23 + 35.5) = 85 \text{ mmol}$$

(3) 浸透圧は浸透圧物質であるNa<sup>+</sup>とCl<sup>-</sup>の双方のモル濃度に影響を受ける。従って、NaCl → Na<sup>+</sup> + Cl<sup>-</sup>ゆえ、浸透圧濃度はモル濃度のおよそ2倍となる。細胞外液量VE [l]は体重BW [kg]のおよそ20%と仮定する(VE = 0.2BW)と、浸透圧濃度は次式より算出可能である。

$$85 \times 2 / (60 \times 0.2) = 14 \text{ mOsm/l}$$

【問題 5】 断面積が  $S$  [ $\text{m}^2$ ] のピストンの付いたシリンダに圧力  $P$  [ $\text{Pa}$ ] の気体が入っている。気体の温度を一定に保って、ピストンを微小距離  $L$  [ $\text{m}$ ] 動かすのにシリンダ内の気体にした仕事量 [ $\text{J}$ ] を求める式を解答欄  に記入せよ。ただし、摩擦などによるエネルギー損失は考えないこととする。[5]

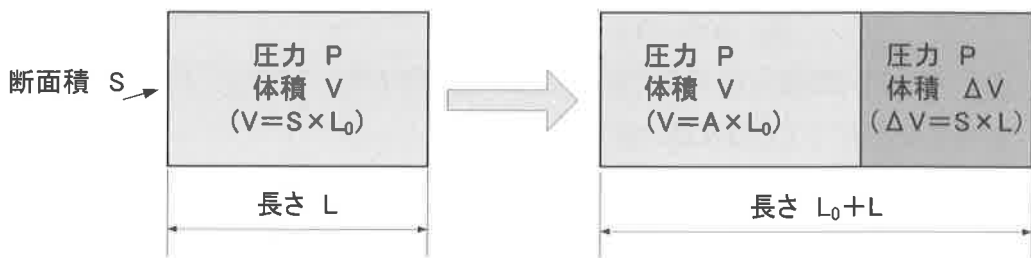
【正解】 ④  $Q = PSL$

【解説】 仕事 [ $\text{J}$ ] は力 [ $\text{N}$ ]  $\times$  距離 [ $\text{m}$ ] で定義される。気体の体積変化に伴う仕事は圧力 [ $\text{Pa}$ ]  $\times$  体積変化  $\Delta V$  [ $\text{m}^3$ ] になる。図のようにある圧力  $P$  の下で、温度が一定になるようにして体積を  $\Delta V$  変化させる。容器を円筒であるとして、断面積を  $S$  としておく。このとき、シリンダー断面に作用する力  $F$  は断面積  $S$  と圧力  $P$  の積に等しい。一方、シリンダーの容積変化  $\Delta V$  を移動距離  $L$  に置き換えると、 $\Delta V = S \times L$  なので、 $L = \Delta V / S$  となる。

したがって、圧力と体積変化の積である  $P \times \Delta V$  は

$$P \times \Delta V = P \times S \times L = F \cdot L$$

となり、仕事(力  $\times$  距離)と一致することがわかる。圧力の単位  $\text{Pa}$  が  $\text{N}/\text{m}^2$  なので、上式の  $P \times \Delta V$  の単位は  $(\text{N}/\text{m}^2) \times \text{m}^3 = \text{N} \cdot \text{m}$  であり、仕事の定義から導かれる単位  $\text{N} \cdot \text{m}$  に一致することを確認できる。



【問題 6】 流速が 50 cm/s の水流中に流れに直交する板において、流れを受け止めるとしたとき、板に加わる圧力を SI 単位 [Pa] で表したのはどれか。番号を解答欄  ⑤  にマークせよ。[5]

- 1) 2.5
- 2) 12.5
- 3) 25
- 4) 125
- 5) 250

【正解】 ⑤ 4)

【解説】 動圧は  $1/2 \cdot \rho \cdot v^2$  で与えられるので、水の密度を  $1000 \text{ kg/m}^3$ 、速度を  $0.5 \text{ m/s}$  として計算すると、 $0.5 \times 1000 \times (0.5)^2 = 125$  が得られる。

単位は  $\text{kg/m}^3 \cdot (\text{m/s}) \cdot (\text{m/s}) = \text{kg} \cdot (\text{m/s}^2) / \text{m}^2$  と書き換えられるので、質量 [kg]・加速度  $[(\text{m/s}^2)]$  / 断面積  $[\text{m}^2]$  = 力  $[\text{kg} \cdot (\text{m/s}^2)$  または N] / 断面積  $[\text{m}^2]$  = 圧力 [Pa]

になることが確認できる。

この問題はベルヌーイの定理を使って流れの中の板に加わる動圧を計算すればよい。板の大きさが示されていないことを不思議に感じるかもしれないが、考えているのは板に加わる力ではなく、圧力であるので計算には必要ない。

液体の圧力は以下の 3 つの圧力の形態に分離して考えるとわかりやすい。

- ① 密閉された容器内の圧力のように、封入されている流体の分子運動によって壁に作用する圧力を静圧といい、流体に流れなどの巨視的な運動が無い状態の圧力の一つである。
- ② 液体の入った容器の上端部を大気に解放すると、容器の底面には大気圧の加えて上部の水の重量が作用する。水面と底面の間での大気の重さは無視できるので、大気圧を基準に考えれば、底面では水位に対応する水の重量を底面積で割っ

た圧力が働いていることになる。形状を簡単にして円筒容器として、底面積を  $S$ 、液体の密度を  $\rho$ 、液体の高さを  $h$  とすると、液体の重量(底面に作用する力)  $W$  は  $W = S \cdot \rho \cdot g \cdot h$  となる。ただし、 $g$  は重力加速度である。圧力 = 力/面積なので、底面での圧力は  $\rho \cdot g \cdot h$  となる。

③ 流体では流れによる圧力も生じる。流体の流れの中に実在する壁に当たると、流体の運動エネルギーが壁に与えられ、流体の密度と速度に応じた力がこの壁に作用する。流れるプールなどに立っていると水に押される力を感じることもあるが、この圧力が動圧である。動圧は流体の持つ運動のエネルギーに相当し、動圧  $= 1/2 \cdot \rho \cdot v^2$  で与えることができる。

これら3つの圧力は流体中で互いに変換されることがある。静圧  $p$  で液体の密閉された容器の壁に穴をあければ流体は静圧によって穴から吹き出し、動圧が発生することになる。このとき、噴き出した水は水位による圧力を失い、動圧を得る。この現象はベルヌーイの定理としてまとめられている。流れに外部から力が作用していない状態では、流れの持つ圧力  $P$  は、

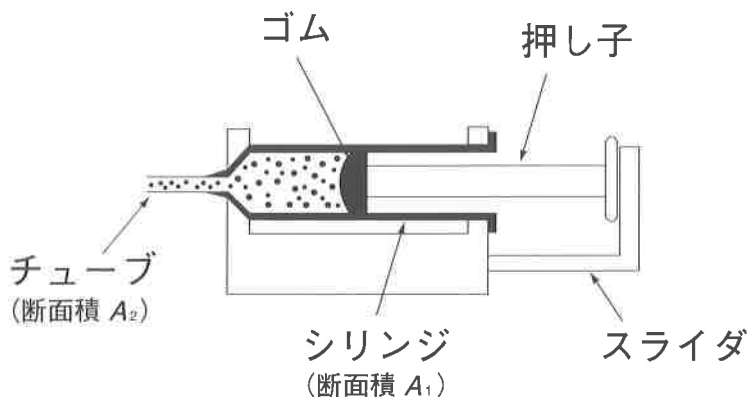
$$P = p + \rho gh + 1/2 \cdot \rho \cdot v^2$$

で示され、外部からエネルギーの作用がなければ、圧力の形が別の形に変わったとしても  $P$  は一定の値を保つ。このときの  $P$  を総圧という。ただし、この式が成立する条件は粘性のない理想流体である。したがって、水などの実際の流体では必ずしも式の通りにはならないことも覚えておかななくてはならない。



【問題7】 下図のシリンジポンプで、薬液が入っていない場合に、押し子のゴムがシリンジ内面を押しつける力が全周で0.5Nであった。ゴムとシリンジ内壁の最大静止摩擦係数を0.5とした時、押し子を動かすにはスライダには何N以上の力が必要か。数値を解答欄〔E〕に記入せよ。〔3〕

次に、シリンジに密度 $\rho$ の薬液を入れて作動させるとき、シリンジ(断面積 $A_1$ )とチューブ(断面積 $A_2$ )との総圧の差を $\Delta P$ 、圧力損失係数を $\lambda \left( = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho v^2} \right)$ とすると、チューブから流れ出る薬液の流量として正しいのはどれか。番号を解答欄〔6〕にマークせよ。但し、押し子の速度は十分に遅く、チューブ内の速度は上式の $v$ である。〔2〕

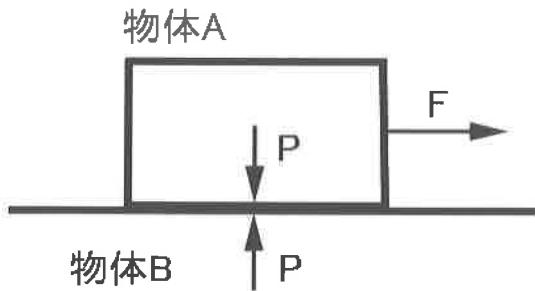


- 1)  $\sqrt{\frac{2\Delta P A_2}{\lambda \rho}}$
- 2)  $\sqrt{\frac{\Delta P A_2}{2\lambda \rho}}$
- 3)  $A_2 \sqrt{\frac{\lambda \rho}{2\Delta P}}$
- 4)  $A_2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\lambda \rho}}$
- 5)  $A_2 \sqrt{\frac{2\Delta P \rho}{\lambda}}$

[解答] ㉔ 0.25 ㉕ 4

[解説] 薬液が入っていないので、押し子を動かす力はシリンダ内面と押し子のゴムとの間に生じる摩擦力のみを考えればよい。摩擦力は、下図のように2つの物体(A と B)が力 P で接している時、水平方向へ力 F で移動させようとする場合に、それを妨げるように働く逆向きの力である。この現象を静止摩擦といい、逆向きの力を静止摩擦力という。摩擦力には静止摩擦力と運動摩擦力がある。

同図で力 F を大きくしていくとやがて物体 A は移動しはじめるが、これは水平方向の力と静止摩擦力の釣り合いが破れるからである。この静止摩擦力の最大値を最大静止摩擦力 ( $F_{\max}$ ) と呼んでいる。最大静止摩擦力は、物体 B が物体 A を垂直に押し返す力(垂直反力 P)に比例する。すなわち、 $F_{\max} = \mu_s \times P$  であり、この  $\mu_s$  を静止摩擦係数というが、 $\mu_s$  は接触面の材質や状態によって異なる。一方、運動摩擦力は物体が移動を始めても、その移動を妨げようと働く摩擦力  $F_k$  である。これも静止摩擦力と同じように垂直反力を P とすると  $F_k = \mu_k \times P$  で表され  $\mu_k$  を運動摩擦係数という。

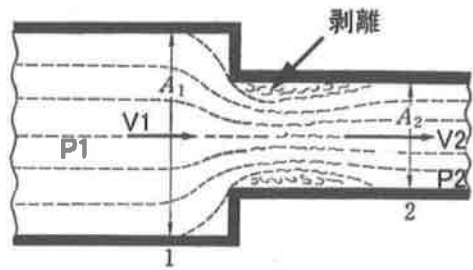


設問で、押し子は静止した状態から移動をはじめるので、この場合は  $F_{\max} = \mu_s \times P$  以上の力が必要である。ここで  $\mu_s = 0.5$  であり、シリンダ内面をゴムが全周囲で 0.5 N の力で接しているから  $P = 0.5$  である。したがって、押し子を動かしはじめるの

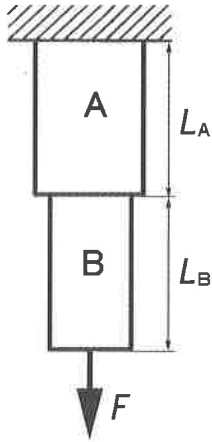
に必要なスライダの力は、 $F_{\max} = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ N}$  となり、これ以上の力が必要である。

円管内を流体が流れる時、断面積が異なる部分では流れの剥離や粘性によるせん断応力で圧力損失が生じる。この場合、断面積が緩やかに減少や増加する場合にはせん断応力によって、急激に減少や増加する場合や狭窄などでは流れの剥離によって圧力損失が起こるが、例えば次頁右図のように急激に断面積が減少する場合には、基本的には設問のような式で圧力損失係数  $\lambda$  が表される。

同式で、総圧の差  $\Delta P$  は図の  $P_1 - P_2$  で、速度  $v$  は  $V_2$  である。断面積  $A_2$  のチューブ内の速度はこの式を変形すれば、 $v = \sqrt{2 \Delta P / \lambda \rho}$  である。したがって、流量  $Q$  はこれに断面積をかけた  $A_2 \sqrt{2 \Delta P / \lambda \rho}$  である。



【問題8】 図のように同軸でつながっている同じ材質(ヤング率： $E$ )の丸棒 A と B に軸方向に力  $F$  が加わった。丸棒 A と B の長さはそれぞれ  $L_A$  と  $L_B$  で、断面積を  $S_A$  と  $S_B$  とすると、丸棒の伸びは全体でいくらになるか。番号を解答欄  にマークせよ。ただし、長さ  $L$ 、断面積  $S$  の丸棒のヤング率  $E$  (= 応力 / ひずみ) は、 $E = \frac{F}{S} \frac{\Delta L}{L}$  で表され ( $\Delta L$  は伸び)、A と B の接続部分の応力集中は無視する。[5]



- 1)  $\frac{F}{E} \left( \frac{L_A}{S_A} + \frac{L_B}{S_B} \right)$
- 2)  $\frac{E}{F} \left( \frac{L_A}{S_A} + \frac{L_B}{S_B} \right)$
- 3)  $\frac{F}{E} \left( \frac{L_A}{S_A} + \frac{S_B}{L_B} \right)$
- 4)  $\frac{E}{F} \left( \frac{S_A}{L_A} + \frac{S_B}{L_B} \right)$
- 5)  $\frac{F}{E} \left( \frac{S_A}{L_A} + \frac{S_B}{L_B} \right)$

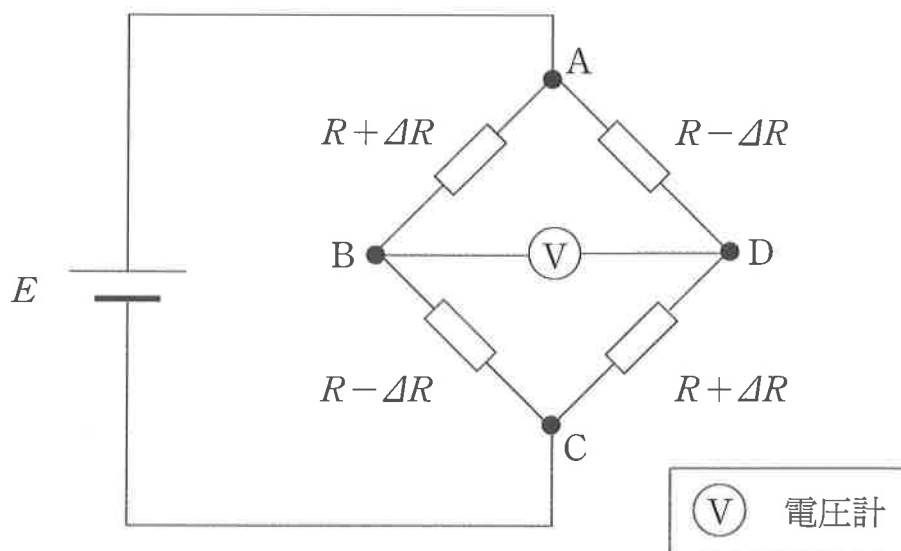
【正解】 ⑦ 1)

【解説】 図は直径が異なるが、ヤング率が同じ丸棒を同軸で接続し軸方向に引っ張りの力  $F$  が加わっている。この際、丸棒 A、B には同じ力  $F$  が加わるので、丸棒 A に発生する応力は力 / 断面積 ( $=F/S_A$ ) であり、伸びを  $\lambda_A$  とするとひずみは伸び / 元の長さ ( $=\lambda_A/L_A$ ) である。したがって、ヤング率 = 応力 / ひずみの式から、 $E = (F/S_A) / (\lambda_A/L_A)$  となり、この式を変形すれば  $\lambda_A = FL_A/ES_A$  で丸棒 A のひずみが得られる。

同様に、丸棒 B については  $\lambda_B = FL_B/ES_B$  となり、全体の伸びはこれらの和であるから、 $\lambda_A + \lambda_B = \frac{F}{E} \left( \frac{L_A}{S_A} + \frac{L_B}{S_B} \right) =$  である。

【問題 9】 同じひずみ率をもつ 4 つのストレインゲージ(抵抗  $R$ ) を用いて図のような回路を組んだ。外力が加わって AB, CD 間の抵抗がそれぞれ  $R + \Delta R$ , BC, DA 間の抵抗がそれぞれ  $R - \Delta R$  に変化したときの BD 間の電圧の大きさは次のうちどれか。番号を解答欄  にマークせよ。[ 6 ]

- 1) 0
- 2)  $\frac{\Delta R}{R} E$
- 3)  $\frac{R}{\Delta R} E$
- 4)  $\frac{R - \Delta R}{R + \Delta R} E$
- 5)  $\frac{R + \Delta R}{R - \Delta R} E$



【正解】 ⑧ 2)

【解説】 観血式血圧計などに用いられる歪みゲージを用いたトランスデューサの基本原理にもなっているブリッジ回路である。

ABC 間, ADC 間の合成抵抗はそれぞれ  $2R$  であるから, 回路全体の抵抗は両者の並列回路なので  $R$  となる。

したがって, ブリッジ回路に流れ込む電流  $I = \frac{E}{R}$  となる。回路の対称性から

ABC 間, ADC 間にはどちらも  $\frac{I}{2} + \frac{E}{2R}$  の電流が流れ込むので, B 点の電位は

$$V_B = E - (R + \Delta R) \frac{I}{2} = E - \frac{R + \Delta R}{2R} E$$

同様に D 点の電位は,

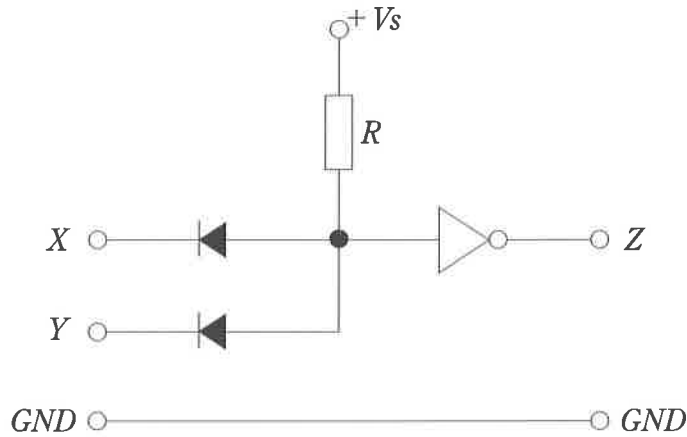
$$V_D = E - (R - \Delta R) \frac{I}{2} = E - \frac{R - \Delta R}{2R} E$$

となる。よって BD 間の電圧の大きさは,

$$|V_{BD}| = \left| E - \frac{R + \Delta R}{2R} E - \left[ E - \frac{R - \Delta R}{2R} E \right] \right| = \frac{\Delta R}{R} E$$

となる。

【問題 10】 図の回路の入力  $X$ ,  $Y$  に対する出力  $Z$  を示す論理式はどれか。番号を解答欄  にマークせよ。ただし、信号は 2 値で、0 [V] を論理 0 に、 $+V_s$  [V] ( $> 0$  [V]) を論理 1 に対応させ、否定回路および各ダイオードの動作は理想的とする。[6]



- 1)  $\overline{X} \cdot \overline{Y}$
- 2)  $\overline{X + Y}$
- 3)  $\overline{X \oplus Y}$
- 4)  $\overline{X + Y}$
- 5)  $\overline{X \oplus Y}$

【正解】 ⑨ 2)

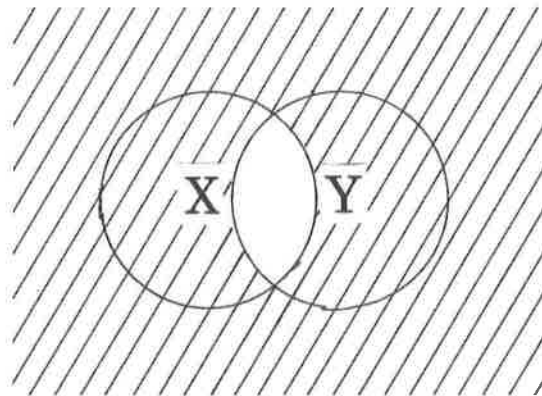
【解説】 ダイオード論理回路の AND と否定回路 NOT を結合した問題で、直ちに正解が分かるが、「論理積の否定」に相当する解答肢がない。ド・モルガンの定理により、これを解答肢 2) の「否定の論理和」に書き換えられることを理解してほしい。

- × 1) 解答肢の論理式では、 $X$ ,  $Y$  の否定演算をそれぞれ行ってから論理積演算を行うが、回路の構成は論理積演算を行ってから否定演算を行っている。
- 2) 解答肢の論理式では否定演算を行ってから論理和演算を行うが、回路の構



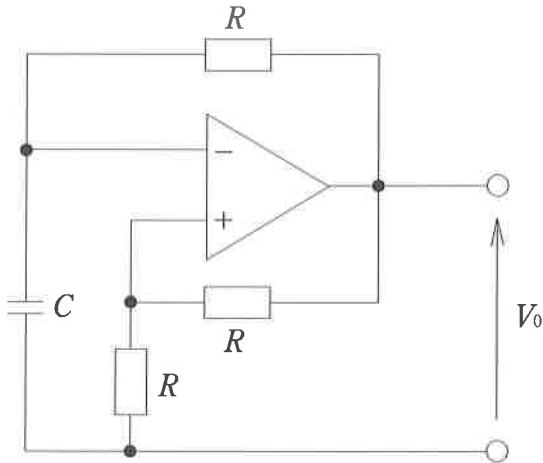
成は論理積演算を行ってから否定演算を行う。しかしド・モルガンの定理によりこの二つの演算が等価なことが保障される。 $X$ ,  $Y$ を領域で図示すれば、等価なことが容易に分かるであろう。(付図の斜線部分)

- × 3) 解答肢の論理式は否定演算を行ってから線形操作の排他的論理和の演算を行うが、回路構成では先ず非線形操作の論理積演算が行われている。
- × 4) 解答肢の論理式ではまず論理和演算を行い、そのあとに否定演算を行うが、回路の左半分の部分論理積のダイオード論理回路であって論理和ではない。すなわち、入力  $X$ ,  $Y$  が共にハイレベルのときに限り出力 (= 否定回路への入力) がハイレベルになる。
- × 5) 解答肢の論理式ではまず排他的論理和演算を行い、そのあとに否定演算を行うが、線形操作である排他的論理和演算はダイオード論理回路のみではできない。



付図

【問題 11】 図のように入力端子を持たない回路は，出力が安定せず振動を続ける。出力  $V_0$  として予想される波形を解答欄 ㊦ に記述せよ。ただし，オペアンプの動作は理想的とし，その正負電源電圧の大きさは等しいものとする。[6]



【正解】 ㊦ 方形波(または矩形波，方形波の波形を解答欄に図示する。振幅や周期などを記入する必要はない。)

【解説】 オペアンプで構成され，帰還ループを持つが入力を持たない設問の回路は，非安定マルチバイブレータ等と同様に，正および負の最大出力電圧を生じる 2 つの準安定状態をもつ。正負の電源電圧の大きさが等しいとしているので，この正負の最大出力電圧も電源電圧よりも若干小さいが，大きさがほぼ等しくなるであろう。オペアンプの増幅度は非常に大きいので，差動増幅器であるオペアンプの二つの入力に加える電圧の差：(正端子入力電圧 - 負端子入力電圧) が僅かでも正であれば出力  $V_0$  は正の最大出力電圧  $V_{0\max}$ ，僅かでも負であれば負の最大出力電圧  $-V_{0\max}$  となる。正入力端子には抵抗分割により出力電圧の  $1/2$  が(正)帰還されているから，負入力に加えられる電圧の大きさが  $\pm V_{0\max}/2$  を越えるところで出力電圧の反転が起こり，出力電圧は  $\pm V_{0\max}$  から  $- \pm V_{0\max}$  になって新しい準安定状態に入る。この動作は，極めて遊び(不感帯)の大きいシュミットトリガそのものである。他方，負入力端子には，ローパス型の RC 回路を介し

て出力電圧が入力されており、出力電圧の変化は少し遅れて(負)帰還される。

ここで、電源を入れた瞬間を考えてみよう。電源 OFF の状態がしばらく続くとコンデンサ  $C$  は放電して端子電圧は 0 に近づく。この状態で電源を ON にすると、その瞬間のノイズやコンデンサの僅かな残留電圧などによって、出力電圧は  $\pm V_{0\max}$  のいずれかの準安定状態を取らざるを得ない。例えば  $+V_{0\max}$  であったとしよう。正入力端子には  $+V_{0\max}/2$  がかかり、RC 回路のコンデンサはすぐには充電されないのでこの瞬間には負入力端子には入力電圧がほぼ 0 である。従って入力の差電圧は正となり、初期の準安定状態を保ち続ける。しかし、RC 回路は最終電圧が  $+V_{0\max}$  になるまで徐々にコンデンサを充電し、RC 回路の時定数で決まる一定の時間の後には  $+V_{0\max}/2$  に到達する。この電圧を越えた瞬間に出力電圧は  $-V_{0\max}$  に反転する動作が起こり、これによりコンデンサ  $C$  では  $+V_{0\max}/2$  から  $-V_{0\max}$  へ向けての充電が新たに始まり、一定の時間の後に  $-V_{0\max}/2$  に到達して次の反転を生じる。この動作は初期の準安定状態の正負に拘わらず、同様に生ずる。つまり、正負の電源電圧や出力電圧の大きさが等しいので、二つの準安定状態に反転するまでの経過時間は等しく、オペアンプの負入力側に接続された RC 回路の時定数のみで決定されるので、準安定期間は正負の出力で等しく、出力波形としては電源が ON の限り続く単純な方形波(正負の波形持続時間が等しい)を生ずる。

なお、設問に図示の抵抗  $R$  の値は、3 個がすべて同じの必要はなく、広範囲の値がとれるが、何れも方形波の周期(または周波数)にのみ関係し、波形の正負対称性や出力電圧などを変えることはない。また、この問題では解答することを要求していないが、方形波の周期や周波数も比較的簡単に計算できるので、興味のある向きは各自で検討してほしい。

【問題12】 導体を流れる電流  $I$  [A] は、ある点を1秒間に通過する電荷の量  $Q$  [C] で表される。ここで、断面積  $2.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  の銅線に  $1.0 \text{ A}$  の直流電流が流れているとき、銅線中の自由電子の平均速度 [m/s] はいくらか。解答を有効数字2桁で解答欄  に記入せよ。ただし、銅線中の自由電子密度  $n = 8.5 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ 、自由電子の電荷  $q = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  とする。[6]

【正解】 ㊸  $3.7 \times 10^{-5}$

【解説】 電流は、ある1点を1秒間に通過する電荷の総量であるから、

$$I = S \times v \times n \times q$$

で表される。ここで、 $S$ ：断面積、 $v$ ：電子の平均速度、 $n$ ：物体中の自由電子密度、 $q$ ：自由電子の電荷、である。これより問題の数値を代入し  $v$  を計算すると、

$$v = 0.000037 \text{ m/s} = 3.7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

となる。

電気の伝わる速度は非常に早いものの、流れる電流中の電子の速度はゆっくりしたものである事を理解していただきたい。

【問題 13】 光関連素子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. フォトダイオード 半導体 pn 接合の接合面に光を照射すると電流が流れる現象を利用した受光素子である。
- b. フォトトランジスタ 光導電素子とトランジスタを組み合わせて集積化した発光素子である。
- c. レーザダイオード レーザ光に最も感度が高いように調節した受光素子である。
- d. CCD(画像)センサ 光センサと電荷転送素子を 2 次元に配列して画像信号を検出する素子である。
- e. 太陽電池 フォトダイオードと同じ動作原理でエネルギー変換効率を重視した素子である。

- 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】 ⑩ 5)

【解説】

- a) 半導体に光を照射すると、半導体の電気伝導度が変化する光伝導効果と、pn 接合面に光を照射すると起電力を発生する光起電力効果とがある。フォトダイオードは光起電力効果を利用した素子で、接合面に光が到達しやすい様に p 層を薄く作ってある。
- × b) トランジスタのベースに光を照射して、光でコレクタ電流を制御する受光素子である。ベースに光が当たる構造で 2 端子素子の形状となっている。フォトダイオードに比較して感度が向上している。
- × c) レーザ光(コヒーレント光)を放射する発光ダイオードである。
- d) 電荷を次々に送っていく電荷転送素子(charge coupled device: CCD)に接合型または MOS 型の光センサを組み合わせたもので、主に画像を取り込

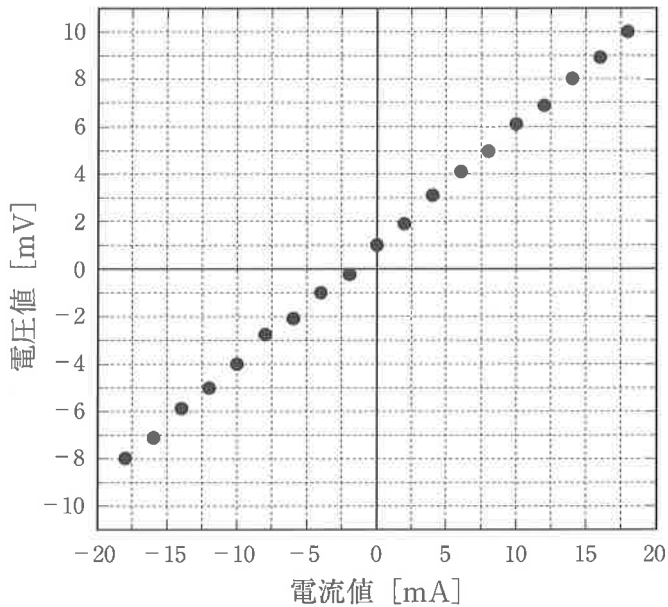
むイメージセンサとして用いられている。

- e) フォトダイオードと同様のpn接合に光を受け、光起電力で電気に変換する。応答速度よりも光電気変換時のエネルギー効率を重要視して作られている。

【問題14】 試料から測定器までの間に温度勾配がある環境下で、四端子法により電流・電圧特性を測定したところ図のような結果が得られた。電流値が0の場合にも約1mVの電圧値が得られているが、これは温度差に依存して〔H〕が発生しているためである。この図から試料の電気抵抗の値はおよそ〔I〕Ωと読み取ることができる。このように、異種金属の接合がある場合に熱流によって起電力が発生する現象をゼーベック効果といい、温度センサの一種である〔J〕の動作原理として知られている。

空欄に当てはまる適当な数値や語句を解答欄〔H〕～〔J〕に記入せよ。

[2×3=6]



【正解】 〔H〕 熱起電力 〔I〕 0.5 〔J〕 熱電対

【解説】 温度勾配があるような環境下で異種の金属が接すると熱起電力が発生する。その場合、電気抵抗を測定するときに単純にオームの法則からは求めることができないため、電流反転させながら電圧を測定し、平均を取ることで熱起電力の影響を取り除く。これは、熱起電力が外部から流す電流の向によらないため

ある。

この問題の場合、四端子法による測定であることから、接触抵抗や回路の配線抵抗は無視できる。しかしながら、熱起電力があるため、抵抗の大きさはグラフの傾きから求める。

異種金属の接合がある場合に熱流によって熱起電力が発生する現象を「ゼーベック効果」といい、単位温度あたりに生じた起電力のことを「熱電能」という。ゼーベック効果を利用した温度計は熱電対として知られている。熱電対には表に示したような種類がある。

ゼーベック効果は熱電効果の一つである。その他の熱電効果としては、電流によって熱流が発生する「ペルティエ効果」、不均一な温度勾配がある場合に電流に比例した熱流が発生する「トムソン効果」がある。

#### 主な熱電対の種類

種類	+脚	-脚	常用限度
TYPE B	白金ロジウム (ロジウム 30%)	白金ロジウム (ロジウム 6%)	～ 1500℃
TYPE R	白金ロジウム (ロジウム 13%)	白金	～ 1400℃
TYPE S	白金ロジウム (ロジウム 10%)	白金	～ 1400℃
TYPE N	ナイクロシル	ナイシル	～ 1200℃
TYPE K	クロメル	アルメル	～ 1000℃
TYPE E	クロメル	コンスタンタン	～ 700℃
TYPE J	鉄	コンスタンタン	～ 600℃
TYPE T	銅	コンスタンタン	～ 300℃

詳細は JIS C 1602「熱電対」などを参照



【問題 15】 IEEE 802.11 b に関して適切なのはどれか。番号を解答欄  にマークせよ。[6]

- 1) 機器間の距離に制限がない。
- 2) 情報漏えい防止のためのセキュリティ対策は不要である。
- 3) 機器の設置移動が容易である。
- 4) 機器の IP アドレス登録を必須とする。
- 5) 同一環境での Bluetooth との混信はない。

【正解】 ① 3)

【解説】 IEEE 802.11 b は、正式には “IEEE 802.11 High-Rate Direct Sequence” と言う。IEEE の「802 委員会」の中にある「ワーキンググループ 11」の「タスクグループ B」が策定した無線 LAN の規格である。2.4 GHz の ISM 帯と呼ばれる、免許不要で扱える周波数帯域を利用し、使用できる距離は 50 m ~ 100 m 程度である。

- × 1) 無線 LAN で通信をおこなわれるため、当然、機器間の距離には限界がある。障害物などの制約で使用できる距離は 50 m ~ 100 m 程度である。
- × 2) IEEE 802.11 b はあくまで通信方式であり、無線 LAN 接続のグループ分けを行う SSID (Service Set ID) や ESS-ID (Extended Service Set ID) と、無線 LAN 初期の暗号化規格である WEP (Wired Equivalent Privacy) などでセキュリティ対策をおこなわないと情報漏えいの危険性が発生する。
- 3) 無線 LAN の最大の特徴は、LAN ケーブルを使わず、機器の設置移動が容易であることである。近年では駅構内や公共施設などのアクセスポイントとして、ホットスポットや FREESPOT などがある。
- × 4) 一般に、機器の IP アドレス登録するのではなく、DHCP での IP アドレスを自動取得する方法が用いられる。もし、特定の機器だけの通信を確保するのであれば、MAC アドレス (Media Access Control address) を使う方法がある。
- × 5) IEEE 802.11 b と Bluetooth は同じ 2.4 GHz 帯を利用するため、干渉し合い、スループットの低下を招くことが知られている。

【問題16】 光ファイバケーブルについて誤っているのはどれか。番号を解答欄

⑫にマークせよ。[6]

- 1) 電磁波の影響を受けにくい。
- 2) 異なる波長の光を同時に流せる。
- 3) 結線方式にはストレートとクロスがある。
- 4) マルチモードとシングルモードがある。
- 5) UTPケーブルとの接続にはメディアコンバータを用いる。

【正解】 ⑫ 3)

【解説】 光ファイバケーブルについての設問。

- 1) レーザ光を通信に用いているため、電磁波や雑音の影響を受けない。
- 2) 光波長多重通信は一本の光ファイバケーブルに複数の異なる波長の光信号を同時に流すことにより、高速かつ大容量の情報通信ができる手段である。波長分割多重通信(WDM: Wavelength Division Multiplex)とも言う。
- ×3) ストレートとクロス接続はUTPケーブルにある。光ファイバにはない。
- 4) マルチモード光ファイバ(Multi mode optical fiber)は、光が多くのモードに分散して伝送されるもので、光ファイバの中をある程度の幅をもって通る。光ファイバと機器との接続が比較的容易であり、広く用いられているグレーデッド・インデックス(Graded index, GI)型では、10Gbpsで500mの中距離高速伝送が可能である。  
シングルモード光ファイバ(Single-mode optical fiber)は、光が単一のモードで伝送され、光ファイバのごく狭い中心部だけを通る。遠距離通信用にガラス製光ファイバが用いられ、汎用シングルモード型(SM)は、1,310nm帯の波長を用い、光ファイバ幹線に広く用いられている。FTTHで各家庭に引き込まれている光ケーブルにも用いられている。
- 5) UTPケーブルと光ファイバとの接続にはメディアコンバータを用いる。  
メディアコンバータは、光ファイバと銅線ケーブル(UTP)を接続し、銅

第17回午前の部

線を流れてきた信号を光ファイバに変換して、信号を相互に変換する装置である。長距離伝送する製品もある。たとえば、100BASE-TX と 100BASE-FX(通信速度 100Mbps)、1000BASE-T と 1000BASE-FX(通信速度 1Gbps)などがあり、相互に変換することができる。

【問題17】 IMAP(Internet Message Access Protocol)の用途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]

- 1) 電子メール送信
- 2) 電子メール受信
- 3) ネットワーク機器監視
- 4) 時刻同期
- 5) IPアドレスの自動割当て

【正解】 ⑬ 2)

【解説】 IMAP(Internet Message Access Protocol)についての設問。インターネットで、電子メールを保存しているサーバからメールを受信するためのプロトコルの一つ。同様のものにPOPがあるが、POPは全てのメールを読み込むのに対して、IMAPはメールをサーバ上のメールボックスで管理し、タイトルや発信者を見て受信するかどうかを決めることができる。モバイル環境で特に便利な方式である。

- × 1) 電子メール送信には、SMTP(Simple Mail Transfer Protocol)を用いる。
- 2) 電子メール受信には、IMAP(Internet Message Access Protocol)、またはPOP(Post Office Protocol)を用いる。
- × 3) ネットワーク機器監視には、SNMP(Simple Network Management Protocol)を用いる。
- × 4) 時刻同期には、SNTP(Simple Network Time Protocol)を用いる。
- × 5) IPアドレスの自動割当には、DHCP(Dynamic Host Configuration Protocol)が用いられる。インターネットなどのネットワーク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る。

【問題 18】 誤っているのはどれか、番号を解答欄  にマークせよ。[6]

- 1) フローチャートの書き方は JIS で定められている。
- 2) 高水準言語で記述したプログラムを実行可能な機械語のプログラムに変換するためのプログラムをコンパイラという。
- 3) オブジェクト指向言語を使うとデータとそれに関連した処理を一体として記述することができる。
- 4) スクリプト言語とは、いくつかの命令を組み合わせてひとまとめの処理を記述するための簡易的な言語の総称である。
- 5) マクロ言語とは、図やグラフ表現を使ってプログラムを作成するための言語である。

【正解】 (14) 5)

【解説】

- 1) 「JIS X 0121-1986 情報処理用流れ図・プログラム網図・システム資源図記号」で情報処理に使われるフローチャートの書き方を定めている。業務の流れ図などのフローチャートについては、それぞれで独自の記法が工夫されている。
- 2) 問題文の通り。一方、元のプログラム全体を一括して変換するのではなく、1行ずつ解釈しながら処理を進めるプログラムをインタプリタという。コンパイラを使って実行することを基本とした言語をコンパイラ言語、インタプリタで実行することを基本とした言語をインタプリタ言語という。両方使える言語も少なくない。
- 3) この機能を抽象データ型またはカプセル化と呼び、オブジェクト指向言語を特徴づける機能の一つである。C++ は C 言語にオブジェクト指向機能を追加したものであり、比較的新しい Java や C# はオブジェクト指向の考え方をさらに取り入れた言語の例である。
- 4) 問題文の通り。スクリプト言語として、ウェブ文書の動的な記述に

Javascript や Perl, PHP などが使われているが, さらに高機能なスクリプト言語もあり様々な目的で使われている。

- ×5) マクロ言語とは, アプリケーションソフトの機能をキーやマウスなどの直接操作に代わってプログラム化して利用するための言語である。身近な例として, 表計算(スプレッドシート)ソフトにおける処理の自動化がある。

【問題 19】 情報通信におけるセキュリティについて誤っているのはどれか。番号を解答欄  にマークせよ。[6]

- a. 共通鍵暗号方式では通信相手が多くなった場合でも鍵の管理が容易である。
- b. SSL は Web サーバと Web ブラザ間の暗号通信等に用いられる。
- c. 通信文やファイルが改ざんされたかどうかを検出する技術をメッセージ認証という。
- d. ファイアウォールは内部のネットワークに対する外部からの不正なアクセス等を防ぐためのシステムである。
- e. ソフトウェアの脆弱性を悪用する行為をフィッシングという。

- 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】 (15) 4)

【解説】

- × a. 共通鍵暗号方式は送信者と受信者間で共通の鍵を使って暗号・復号する方式であり、通信相手が多くなるとその分だけ鍵の数が増えるので鍵の管理が難しくなる。これに対して、公開鍵で暗号化したデータはペアとなる秘密鍵でしか復号できないことを利用した公開鍵暗号方式では、暗号・復号化の手順は複雑になるが、暗号化鍵を公開できることから鍵の管理が容易になる。
- b. SSL(Secure Socket Layer)は暗号化や認証等の手順を定めたプロトコルであり、Web サーバと Web ブラウザ間でクレジット情報や個人情報など重要な情報をやり取りする場合に使われることが多い。SSL が使用されると、ブラウザの URL 入力画面に http:// の代わりに https:// が表示され、南京錠のようなアイコンが表示される。
- c. メッセージ認証は、第三者による通信途中での改ざんの有無と正しい送信

者から送られたことを確認するための技術で、送信者と受信者間で共有する秘密鍵と元データから計算するハッシュ値を使う。

- d. ファイアウォール(防火壁)とは、内部のネットワークと外部のインターネットとデータの出入り口に設置され、外部からのパケットをフィルタリングしたり、内部のアドレスを変換して外部からは見えなくする、さらには外部とのやりとりをすべて代理するなどの機能によって、外部からの攻撃や不正侵入を防止する。
- × e. フィッシングは Web サイトを偽装するなどして、パスワードや口座番号などを詐取することをいう。ソフトウェアの脆弱性はセキュリティホールとして不正利用などのハッキングやウイルスの感染手段に利用される。フィッシングにブラウザの脆弱性が利用されることがあるが、悪用=フィッシングではないので問題文からは×とする。



【問題20】 規格上、伝送速度が最も遅い通信方式はどれか。番号を解答欄

⑩にマークせよ。[6]

- 1) ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)
- 2) ISDN(Integrated Services Digital Network)
- 3) PLC(Power Line Communications)
- 4) IEEE 802.11 b
- 5) IEEE 802.11 g

【正解】 ⑩ 2)

【解説】

- × 1) ADSL は、電話線を使い高速なデータ通信を行う技術であり、電話の音声を伝えるのには使わない高い周波数帯を使われ、広くインターネットで利用されている。「非対称(asymmetric)」の名の通り、ユーザ側から見てダウンロードに相当する電話局→利用者方向(下り)の通信速度は1.5～約50 Mbps、その逆のアップロードにあたる利用者→電話局方向(上り)の通信速度は0.5～約12 Mbpsと、通信方向によって最高速度が違っている。
- 2) ISDN は、電話やFAX、データ通信を統合して扱うデジタル通信網であり、国際電気通信連合電気通信セクタ(ITU-TS)によって標準化されている。現在各国で提供されているサービスのほとんどは通常の電話線を使ったN-ISDNであり、3本のチャンネル(論理回線)で構成される。通信速度16 kbpsのDチャンネル(1本)は制御用、64 kbpsのBチャンネル(2本)は通信用である。2回線同時に使用できるので、電話をかけながらインターネットに接続したりできる。また、2回線を束ねて128 kbpsの通信を行うことも可能である。
- × 3) PLC は、電力線を通信回線として利用する技術であり、電気のコンセントに通信用のアダプタ(PLC モデム)を設置してパソコンなどをつなぐことにより、数 Mbps～数百 Mbpsのデータ通信が可能となる。ほとんどの

建物には電気配線が張り巡らされているため、PLCを使うことにより新たにケーブルなどを敷設することなく手軽に構内通信網を構築できる。

- × 4) IEEE 802.11 b の正式名称は “IEEE 802.11 High-Rate Direct Sequence” であり、IEEE の「802 委員会」の中にある「ワーキンググループ 11」の「タスクグループ B」が策定した無線 LAN の規格である。2.4 GHz の ISM 帯と呼ばれる、免許不要で扱える周波数帯域を利用する。1997 年 - 1999 年にかけて規格審議が行われ、従来の IEEE 802.11 規格と互換性を持たせて伝送速度を 2 Mbps から最大 11 Mbps に拡張した規格が成立した。
- × 5) 802.11 g は、IEEE 802.11 b の上位規格として開発され、周波数は IEEE 802.11 b と同じ 2.4 GHz 帯の ISM バンドを利用する。最大通信速度は IEEE 802.11 b の 11 Mbps から 54 Mbps に高速化されている。

【問題 21】 「QC 7 つ道具」について誤っているのはどれか。番号を解答欄

⑰ にマークせよ。[ 6 ]

- a. パレート図 : 工程が安定状態にあるかどうかを判定する。
- b. 特性要因図 : 結果と原因の因果関係を表し問題点を抽出する。
- c. ヒストグラム : グラフ全体の形からバラツキや異常を知る。
- d. チェックシート : チェックした計測値の分布から異常な箇所を知る。
- e. 散布図 : 時間軸を横にとりバラツキ等の時間的変化を知る。

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

【正解】 ⑰ 4)

【解説】

- × a. パレート図 : 不具合、故障などの発生件数等を項目別に分け、件数の大きい順に並べた図であり、問題点がどこにあるかを見出すために有効。工程の安定状態の判定には使えない
- b. 特性要因図 : 結果と原因の因果関係を表した図でありフィッシュボーンともいう。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 1 枚の図に整理して表すことができる
- c. ヒストグラム : データの区間幅ごとの度数を棒グラフで表した図であり、グラフ全体の形からバラツキや異常を知ることができる
- d. チェックシート : データが分類項目別のどこに集中しているかを見やすく整理したものであり、チェックの状況から異常の箇所を知ることができる
- × e. 散布図 : 2 つの対になったデータをグラフ上で点で表した図であり、このデータ間にどのような関係があるかを知ることができる

【問題 22】 2つの要素の信頼度(確率)を  $R_1, R_2$ , 故障率(確率)を  $F_1, F_2$  とする。直列システムの故障率を解答欄  に、並列システムの故障率を解答欄  に  $F_1, F_2$  を用いてそれぞれ式を記入せよ。ただし、 $F=1-R$  である。  
[3×2=6]



- 【正解】 Ⓚ  $F_1 + F_2 - F_1 \cdot F_2$   
 ㊀  $F_1 \cdot F_2$

【解説】 信頼度の直列システムの総合信頼度は、

$$R = R_1 \cdot R_2 \dots\dots\dots(1)$$

並列システムの総合信頼度は、

$$R = R_1 + R_2 - R_1 \cdot R_2 \dots\dots\dots(2)$$

と表される。一方、故障率  $F$  と信頼度  $R$  の関係は  $F = 1 - R$  であるから、(1)式(2)式に、それぞれの故障率  $F_1, F_2$  を代入すると、

(1)式は、

$$R = R_1 \cdot R_2 = (1 - F_1)(1 - F_2) = 1 - (F_1 + F_2) + F_1 \cdot F_2 \dots\dots\dots(3)$$

となり、よって、

$$F = 1 - R = F_1 + F_2 - F_1 \cdot F_2 \dots\dots\dots(4)$$

となる。

一方、(2)式は、同様に

$$\begin{aligned} R &= R_1 + R_2 - R_1 \cdot R_2 = (1 - F_1) + (1 - F_2) - (1 - F_1)(1 - F_2) \\ &= 2 - (F_1 + F_2) - 1 + (F_1 + F_2) - F_1 \cdot F_2 = 1 - F_1 \cdot F_2 \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

となり、よって

$$F = 1 - R = F_1 \cdot F_2 \dots\dots\dots(6)$$

となる。

よって、直列システムの総合故障率は(4)式、並列システムの総合故障率は(6)式となる。

R と F は反対概念であるから、F は R の場合の反対になるのである。

【問題 23】 ある運用期間内の心電図モニタの稼働率および平均修復時間(MTTR)を調査したところ、稼働率は0.999、MTTRは2時間であった。この心電図モニタの調査期間内における故障率 [件/1000時間] はおよそいくらか。番号を解答欄  ⑱  にマークせよ。[6]

- 1) 0.05
- 2) 0.1
- 3) 0.2
- 4) 0.5
- 5) 1.0

【正解】 ⑱ 4)

【解説】 平均修復(修理)時間とは、あるシステムに故障が発生してから修復が完了するまでの時間の平均値(mean time to repair: MTTR)で、修復時間の合計を故障の回数で除して求められる。この値が小さいほど、故障が発生してから復旧するまでの時間、つまりシステムがダウンしている時間が短いということである。また、稼働率(availability: A)とは、システムが継続して稼働できる能力のことで、 $A = MTBF / (MTBF + MTTR)$  で表される。ここで MTBF は、故障から次の故障までの時間の平均値(mean time between failure: MTBF)のことで、使用時間の合計を使用期間の回数で除して求められる。稼働率は、連続稼働できる時間の平均値で、数値が大きいほど信頼性の高いシステムといえる。

故障率は MTBF 値の逆数で、 $\text{故障率} = 1 / \text{MTBF}$  で求められる。

稼働率の式より、MTBF は次式で表される。

$$\text{MTBF} = (A \times \text{MTTR}) / (1 - A) = (0.999 \times 2) / (1 - 0.999) = 1998 \text{ [h]}$$

したがって故障率は

$$\text{故障率} = 1 / \text{MTBF} = 1 / 1998 \approx 0.505 \text{ [件/1000時間]}$$

になる。

【問題24】 医療機器を冷えきった倉庫から出し、暖かい部屋に運び入れて電源を入れたところ、異常な動作をした。そこで電源を切り、その場に1時間放置した後に電源を入れたところ、正常な動作を回復し、他に不具合な点も見当たらなかった。このような動作の原因として考えられるものはなにか。解答欄  ㉗ に記入せよ。[6]

【正解】 ㉗ (例1) 結露

(例2) 結露で回路基盤に水滴がつき誤動作したが、放置により水滴が蒸発したため動作が回復した

【解説】 暖かい部屋の空気中に含まれる水蒸気が、飽和温度よりも低い温度の物体(冷えきった医療機器)に触れると水に変わり物体に水滴が付着することがあるが、この現象を「結露」という。

ある温度の空気が含むことができる水蒸気量(飽和水蒸気量)は20℃で17.3 g/m<sup>3</sup>であったものが0℃では4.8 g/m<sup>3</sup>と減少し、温度低下で容易に多量の水滴が発生することが分かる。

設問の医療機器の異常動作はこの水滴が機器の電子回路に付着したためと考えられ、徐々に医療機器が暖められていくに伴い飽和水蒸気量が増加し、発生した水滴も蒸発して消滅するため動作が回復したものと考えられる。

その他に温度変化の影響を受けるものとして①アンプの温度ドリフト ②半導体メモリの動作速度低下 ③内蔵電池の電圧低下 ④電界コンデンサの静電容量低下 などがあるが、市販の医療機器ではすべて設計段階で対応されており原因とは考えられない。

【問題 25】 国際的な EMC 規格である IEC 60601-1-2 では、輸液ポンプを含む生命維持装置の放射無線周波電磁界に対するイミュニティ(妨害排除能力)の許容値は  [V/m] とされている。この許容値を満足させるためには、第 3 世代携帯電話を医用電気機器から  [cm] 以上離す必要がある。それぞれ最も近い値の番号を下記の解答群より選び、解答欄  ~  にマークせよ。

ここで、放射する電波の電界成分  $E$  [V/m] は  $E = \frac{7\sqrt{P}}{r}$  (理想的な半波長ダイポールアンテナの場合) の式で表せるとし、第 3 世代携帯電話の最大出力  $P$  は 250 mW であるとする。なお、この式で求められる最大干渉距離  $r$  は実際の携帯電話端末では相対利得が -2 dB 程度あることを考慮せよ。[3×2=6]

の解答群

- 1) 0.3    2) 1.0    3) 3    4) 10    5) 30

の解答群

- 1) 10    2) 30    3) 60    4) 90    5) 120

【正解】 ① 4) ② 2)

【解説】 現行の JIS T 0601-1-2 では、すべての医用電気機器についての放射無線周波電磁界に対するイミュニティ(妨害排除能力)の許容(電界強度)値は 3 V/m であるが、国際的な EMC 規格である IEC 60601-1-2 ならびに改訂予定の JIS T 0601-1-2 では、輸液ポンプを含む生命維持装置の場合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、一般的な医用電気機器の許容値 3 V/m より厳しい 10 V/m と規定されている。また、放射する電波の電界成分  $E$  [V/m] を求める式  $E = 7\sqrt{P}/r$  (理想的な半波長ダイポールアンテナの場合) に、この許容値  $E = 10$  V/m ならびに第 3 世代携帯電話の最大出力値  $P =$



250 mW を代入すると，最大干渉距離  $r=35$  cm が求まる。ただし，実際の携帯電話端末では相対利得が  $-2$  dB 程度あることを考慮すると，最大干渉距離はさらに短くなって  $r\approx 30$  cm となる。

【問題 26】 標準 12 誘導心電計の交流障害の軽減に有効なのはどれか。番号を解答欄 ⑳ にマークせよ。〔6〕

- a. 特別非常電源
- b. 等電位接地
- c. CF 形装着部
- d. 医用接地
- e. 非接地配線方式

- 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】 ⑳ 6)

【解説】 交流障害の主な原因として静電誘導，電磁誘導，漏洩電流があげられる。静電誘導に対しては対地電位を低下させるための接地やシールド，電磁誘導に対しては雑音源から離れる事，漏洩電流に対しては接地がそれぞれ有効である。

- × a. 商用交流に接続されているので，交流障害の対策にはならない。
- b. ミクロショック対策として患者周囲の露出金属(接地端子が含まれる)を 0.1 Ω 以下の導線で集中接地し，露出金属間の電位差をほぼ無くする。対地電位が下がり静電誘導による障害を受けにくくなる。
- × c. 人体に複数の医療機器を接続して使用する場合に，人体を介して心臓に適用する医療機器に流れ込もうとする漏れ電流を阻止するための入力方式。フローティングにより対地容量が上昇するため静電誘導による交流障害を受けやすくなる。
- d. 医療機器の電源部からの漏れ電流を直接大地に逃がすための設備。測定部に交流障害電流が流れにくくなる。
- × e. 設備側に絶縁変圧器を設け，その 2 次側電路をどれも設置しない配線方式。絶縁変圧器は 0.1 mA 以下漏れ電流が流れるため，交流障害の対策にはならない。

【問題27】 身体に照射された携帯電話などで使用されている電磁波は、体表で反射波と透過波になる。透過波は屈折し体内に浸透していくが、体内深部まで浸透できない。その主な理由は何か。番号を解答欄②②にマークせよ。[6]

- 1) 渦電流による表皮効果
- 2) 皮下脂肪での渦電流による損失
- 3) 細胞膜での散乱
- 4) 変位電流による損失
- 5) 電磁波の伝搬速度の違いによる屈折

【正解】 ② 1)

【解説】 近年、携帯電話を始め多くの高周波帯の電磁波が使用されている。これらの電磁波による生体への影響に関する重要な問題である。

- 1) 高周波電磁波が生体に照射されると生体の体表近辺に電流や磁界が局在し生体内に電磁波が浸透していかない現象を表皮効果(生体だけでなく金属など、その他の導体でも起こる現象)という。磁界による渦電流の影響で、導電率が高いほど大きな渦電流が発生し、生体内に浸透しにくくなる。
- × 2) 脂肪の導電率は低く、脂肪内にはあまり渦電流が流れない。
- × 3) 光のように波長が著しく短い電磁波が細胞膜で散乱されるが、携帯電話で使用されるような電磁波では散乱が起きないと考えても良い。
- × 4) 変位電流は電界の時間的変動と誘電率に比例して生じる電流で、導電率に関係しない。
- × 5) 体表で電磁波の伝搬速度の違いによる反射はおこるが、生体内に浸透した電磁波の浸透しにくさには関係ない。

【問題28】 超音波診断装置に用いられている超音波の生体内の伝搬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. 超音波の減衰は周波数が高いほど小さくなる。
- b. 軟組織は含水率が多いため超音波の減衰も水と同程度である。
- c. 軟組織内の伝搬は減衰の大きい縦波より横波が主である。
- d. 骨と筋肉では音響インピーダンスの差が大きく境界での反射が大きい。
- e. 血球は超音波の波長よりも小さく、超音波を散乱しやすい。

- 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】 ㉓ 10)

【解説】 超音波の生体内の伝搬特性は、超音波診断装置の空間分解能などの基本特性だけでなく、適用可能部位やアーチファクトにも大きく関わるため、それを理解することは診断装置の適切な利用のためには不可欠となる。

- × a. 軟組織の減衰係数は周波数にほぼ比例するので、周波数が高いほど減衰は大きくなる。
- × b. 軟組織の減衰は、水よりもはるかに大きな値である。
- × c. 通常の超音波診断装置では縦波を用いているが、これは MHz 帯の超音波で横波は急速に減衰してしまうためである。
- d. このため、骨よりも深部の領域は画像上ではシャドウとなる。
- e. 診断に用いる超音波は数 MHz であり、仮に 5 MHz でも波長では 0.3 mm なのに対し、血球のサイズは 10  $\mu\text{m}$  以下と、十分に小さい。このため、いわゆるレーリー散乱を生じる。

【問題 29】 生体内での物質の輸送において、生体が持つ能動的な機能に基づくものはどれか。番号を解答欄  にマークせよ。[6]

- a. 細胞膜での静止電位の確保
- b. 毛細管での酸素/二酸化炭素の交換
- c. 肺胞での酸素/二酸化炭素の交換
- d. 腎での水の回収
- e. 糸球体でのブドウ糖の濾過

- 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】 ②④③

【解説】 生体にはいろいろなカテゴリーの輸送・伝達機能が備わっている。筋骨格系による運動量輸送、脳神経系による情報伝達を除けば、そのほかの輸送・伝達、例えば物質の輸送とそれに伴うエネルギーの輸送、熱の伝達などには大きく循環系が関与している。生体組織が要求する物質を採り入れ、不要となった老廃物を排出するために、循環系は肺、皮膚、腸管、腎臓において外界との輸送通路を持ち、毛細管において体内組織との輸送通路を持つ。さらにリンパ系が情報伝達のための物質輸送を補佐する。

気体や液体、およびそれらに溶解している物質は、主として二つの方法で循環系を介して輸送される。第一は物質の濃度差に起因する拡散現象によって循環系から受動的に物質が出入りするもの、第二はエネルギーを用いて濃度差に逆って積極的に物質が移動する、より生物的な能動輸送である。毛細管や肺胞でのヘモグロビンを通じての酸素/二酸化炭素の交換や糸球体での濾過は細胞膜を隔てての物質の濃度差に起因し、第一の受動的な拡散現象と考えられる。

それに対し、第二の濃度の低い方から高い方への能動的な物質輸送には、細胞膜におけるナトリウムイオンの低濃度から高濃度への汲み出しが挙げられる。こ

の働きは、まさに生命現象そのものと言ってよく、生物に特有な極めて神秘的な機能である。ナトリウムイオンの能動的物質輸送によって、神経では細胞膜の両面にイオン濃度差による膜電位が維持され、情報伝達に必要な活動電位を発生することができる。またナトリウムイオンの汲み上げにより塩分が移動し、それに伴って水の移動が生じ、腎ではヘンレのループ等、尿細管と血管の特殊な配置と相俟って貴重な水を尿から回収し、尿を濃縮することができる。

- a. 神経細胞の内外液で拡散によりイオン濃度が均等化してしまえば、静止電位は失われ、活動電位の発生も不可能になる。細胞膜は活動電位の発生の際に細胞内液側に流入したナトリウムイオンを高濃度側の細胞外へ汲みして静止電位を維持している。
- × b. 毛細管における酸素の供給と二酸化炭素の回収は、多数の段階を経て行われるが、その原動力となるのは物質の濃度差(分圧差)による受動的な拡散現象に過ぎない。
- × c. 肺胞における酸素の採取と二酸化炭素の排出も毛細管の場合に準じ、受動的物質輸送である。
- d. 腎での水の回収には、ナトリウムイオンの能動輸送が深く関係している。  
(上記参照)
- × e. 腎であっても糸球体の物質濾過の段階は能動的ではなく、濃度差による拡散現象と考えられている。

【問題 30】 30℃, 1g の体組織に 25 W の電力で熱エネルギーを 10 秒間与えた後の組織のおよその温度 [℃] として正しいのはどれか。番号を解答欄  にマークせよ。ただし, 組織の比熱容量を 4.2 kJ/(kg · K) とする。[ 6 ]

- 1) 45
- 2) 55
- 3) 60
- 4) 70
- 5) 90

【正解】 ㉕ 5)

【解説】 この問題は設問にある比熱容量の単位をよく考えれば, 解答を導くことができる。

熱エネルギーが物体に与えられると物体を構成する分子(原子)の運動が増大し, これが温度の上昇として観測される。比熱容量とは, ある物体の単位質量 (1 kg) の温度を 1 K (ケルビン) だけ変化させる (1℃ の変化と同じ) のに必要な熱量  $q$  [J] のことである。

かつては水の比熱(比熱容量)を 1 (1 g の水を 1℃ 上昇させる熱量を 1 cal とし, 単位は cal/(g · ℃)) として, いろいろな物質の比熱を水との比率で与えていた。現在の比熱は水との比較ではないので, 厳密に比熱容量と呼ぶべきであろう。

比熱容量を  $c$  とすると, 定義から  $c = q / (1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ K})$  であり, 単位は J/(kg · K) となる。ある物質の比熱容量が  $c$  のとき, 質量  $m$  の温度が  $\Delta T$  だけ変化したときに移動した熱量  $Q$  は

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

として求めることができる。

設問では  $Q = 25 \text{ W} \times 10 \text{ s}$  であるので,  $Q = 250 \text{ J}$  となる。質量は  $1 \times 10^{-3} \text{ kg}$ , 比熱容量は  $4.2 \times 10^3$  であり, これらの値を上式に代入すれば,  
 $250 = 10^{-3} \times 4.2 \times 10^3 \times \Delta T$  より,  $\Delta T = 250 / 4.2 = 60.4 \approx 60$

が得られる。

解答は温度の変化ではなく、加熱後の温度なので、はじめの温度  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  に温度変化  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  を加えて、 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  となる。



【問題31】 正しいのはどれか。番号を解答欄⑳にマークせよ。[6]

- a. 太い血管を流れる血液の粘性はヘマトクリット値に依存しない。
- b. 血管内の流速は層流であれば中心部と周辺部でほぼ等しい。
- c. 乱流域にある血流は近似的にポアズイユの法則に従う。
- d. 赤血球は、その直径より内径の小さい毛細血管を通過することができる。
- e. 大動脈弓など血管が曲がる部分では流れに遠心力の影響が生じる。

- 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 10)

【解説】 循環系での血液と血流の性質について問う問題である。

- × a. ヘマトクリット値は血液の濃さ(血液中に占める血球の容積の割合)を示し、血液のどろどろした性質(血球の多さ)である粘性に関係する。
- × b. 血管のような円管内を流れる流速分布は、中心部分の速度が速く、周辺(管壁面)部分の速度が遅いという速度分布をつくる。
- × c. ハーゲン・ポアゼイユの法則は、流線が明確な層流において成立し、円管内の層流の流量が半径の4乗に比例する。
- d. 赤血球が毛細血管のような小口径の管を流れるときに見かけの粘性(ヘマトクリット値)が減少する現象(集軸効果、またはファーレウス・リンドクイスト効果)が起こり、赤血球が変形して通過することができる。
- e. 血管が曲がっていると、ハーゲン・ポアゼイユの法則に従い、血管の中心部を高速で流れる血液は大きな遠心力を受ける。

【問題 32】 あるがん細胞に X 線を照射した。線量 4 Gy で 1 回照射した時のがん細胞の生存率が 0.1 であったが、2 日に分けてそれぞれ線量 2 Gy ずつ照射(合計線量は 4 Gy)した時の生存率は 0.2 であった。この細胞に対して 4 日に分けてそれぞれ線量 1 Gy ずつ照射(合計線量は 4 Gy)した時の生存率で最も可能性が高い値はどれか。番号を解答欄  ⑳  にマークせよ。[ 6 ]

- 1) 0.2 より大きい
- 2) 0.2 より小さく 0.1 より大きい
- 3) 0.1 より小さく 0.05 より大きい
- 4) 0.05 より小さく 0.025 より大きい
- 5) 0.025 より小さい

【正解】 ㉑ 1)

【解説】 いわゆる分割照射の問題である。

分割照射の理論モデルとして LQ モデルがよく知られており、以下文献 1 より抜粋する(一部改変)。

LQ モデルは、線量と殺細胞効果の関係を表す線量効果曲線が

$$E = n(\alpha d + \beta d^2)$$

$E$  = 生物学的な効果,  $n$  : 分割回数,  $d$  : 分割線量(1 回線量)で表せるとするもので、放射線の細胞への効果を線量の 1 次項成分と 2 次項成分の寄与に分けて考える。組織や腫瘍の放射線応答の指標である  $\alpha/\beta$  比

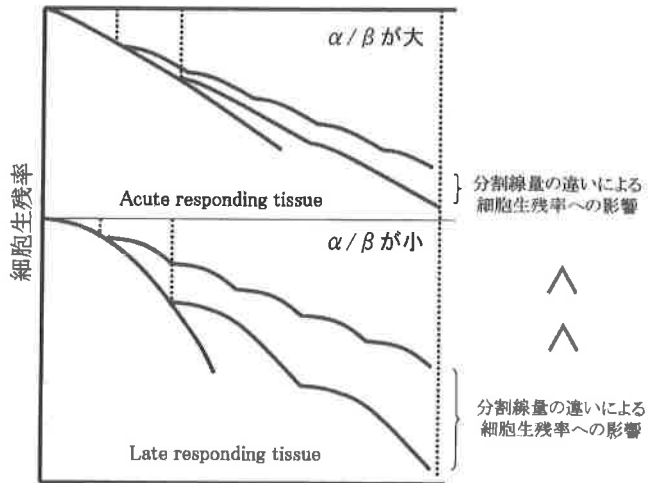


図 1 分割照射に対する early responding tissue と late responding tissue の反応の相違

は 1 次項成分と 2 次項成分による細胞死の比率が等しくなる線量であり、組織の放射線に対する反応性の違いから急性反応型組織 (acutely responding tissue :  $\alpha/\beta$  比が大きい) と晩期反応型組織 (late responding tissue :  $\alpha/\beta$  比が小さい) に分けることができる。この二つの組織型の違いは図 1 に示すように線量効果曲線の曲がりの程度の違いによるものであり、この相違が分割照射に対するこの二つの異なる反応型組織の違いを説明する重要なポイントである。言い換えれば、LQ モデルは急性反応と晩期反応を規定する組織の相違を説明可能であるため、多分割照射法の放射線生物学的な基礎を説明する重要な理論である。

さて、問題文の条件を LQ モデルの数式に当てはめてみる。E を殺細胞効果と考え、1 より生存率を引いた値と置き換えることができる。

「線量 4 Gy で 1 回照射したときの生存率が 0.1」より、

$$1 - 0.1 = 1 \times (4\alpha + 4^2\beta)$$

また、「線量 2 Gy で二回照射 (合計線量は 4 Gy) した時の生存率は 0.2」より

$$1 - 0.2 = 2 \times (2\alpha + 2^2\beta)$$

となり、この 2 つの連立方程式を解くと、

$$\alpha = 7/40, \beta = 1/80 \text{ となり,}$$

すると、「この細胞に対して線量 1 Gy で四回照射 (合計線量は 4 Gy) した時の生存率」は (生存率を Y とする)、

$$1 - Y = 4 \times (1 \times 7/40 + 1 \times 1/80)$$

これを解くと、 $Y = 0.25$  となる。

#### [参考文献]

文献 1 : 秋元哲夫, 多分割照射の放射生物学的な基礎, 癌と化学療法 35 : 1820-2 (2008)

【問題 33】 医用材料に関する次の文章について、適当な語句を解答欄  ～  
 に記入せよ。[2×3=6]

1. バイオセラミックスは生体との親和性が高く、硬くて錆びず、電気絶縁性に優れるという特長があるが、短所として  という機械的性質を持つ。具体的な材料名に  などがある。
2. 天然高分子材料は、植物や動物の構成成分から精製された素材で、生体との親和性に優れる。具体的な材料名に  などがある。

【正解】  脆いや破壊されやすいなど(それぞれの類似語も正解とする)  
 ハイドロキシアパタイト、リン酸カルシウム、バイオガラス、アルミナ、ジルコニア、カーボンなど  
 コラーゲン、絹(シルク)、セルロース、キチン、キトサンなど

【解説】 設問に挙げられた各医用材料の性質と具体的な材料名を考えてみる。

- : バイオセラミックスは、生体に用いられる非金属材料で、生体との親和性が高く、硬く、錆びず電気絶縁性に優れるという特長を持つ反面、短所として脆く、壊れやすいという機械的性質を有する。
- : バイオセラミックスの具体的な材料名としては、生活活性(バイオアクティブ)材料としてのハイドロキシアパタイト、リン酸カルシウム、バイオガラス、結晶化ガラスなどと、生活不活性(バイオイナート)材料としてのアルミナ、ジルコニア、カーボンなどをあげることができる。
- : 天然高分子材料は、植物および動物の構成成分より精製された材料で、生体との親和性に優れ、タンパク質や多糖類が相当する。具体的な材料名として、生体の結合組織を構成するタンパク質であるコラーゲン、蚕が作り出す天然糸としての絹(シルク)、植物を生産源とする多糖類であるセルロース、甲殻類、昆虫類、菌類より生産される多糖類であるキチン、キチンの脱アセチル化物であるキトサンなどがあげられる。

【問題 34】 医用材料に関し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. 高分子(ポリマー)とはモノマーが重合してできたものである。
- b. 生分解性高分子は天然高分子材料のことである。
- c. 高分子材料の問題点の 1 つとして、低分子量物質の溶出がある。
- d. 合成高分子材料のうち、弾性を持つものにポリウレタンがある。
- e. ゴム(エラストマ)とは可塑性を持つ高分子材料のことである。

- 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】 ② 7)

【解説】 医用材料うちの高分子材料に関する問題であるが、それぞれの事項について、誤っているかどうかをしてみる。

- a. 高分子(ポリマー)とは、低分子化合物の単量体であるモノマーを化学結合で線状につなぎ合わせる事(これを重合という)によって合成されるものである。
- × b. 生体内で分解、吸収される高分子を生分解性高分子または生体吸収性高分子という。この代表例として、主に酵素分解により分解され、生体に吸収されるコラーゲン、キチン、キトサンなどの天然高分子のほかに、非酵素的に加水分解され、代謝・排泄される脂肪族ポリエステル(ポリグリコール酸、ポリ乳酸など)といった合成高分子があり、縫合糸、人工腱・靱帯、骨折用固定ネジ、ドラッグデリバリーシステム(DDS)などの用途がある。
- c. 高分子材料は、石油から構成したモノマーを人工的に重合したものであり、その製造過程において、さまざまな物質が添加されているため、内分泌攪乱物質(環境ホルモン)をはじめとする低分子量物質が材料側から生体側へ

溶出する可能性が、他の医用材料に比して高いという問題点がある。

- d. 合成高分子材料には、可塑性を持つ高分子材料(プラスチック)であるポリ塩化ビニル、ポリエチレンなどと、弾性を持つポリウレタン、シリコーンなどがある。
- × e. ゴムとかエラストマーと呼ばれるものは、弾性を有する高分子材料のことである。

以上より、正解は 7) である。

【問題35】 次の医用材料とその用途との組み合わせで誤っているのはどれか。  
番号を解答欄(29)にマークせよ。[6]

- a. チタン————人工骨
- b. ジルコニア————人工関節
- c. シルク————手術用縫合糸
- d. ポリエチレン————輸血バッグ
- e. ポリスルホン————人工血管

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

【正解】 (29) 10)

【解説】 a. ~ e. にあげられたのは、医用材料としてよく用いられているものであるが、それぞれの応用例をあげて、問題の組み合わせの正誤を見てみる。

- a. チタン：チタンおよびチタン合金は耐食性に富み、骨組織との結合・癒着性に優れており、人工骨やボーンプレートに利用されている。
- b. ジルコニア：バイオセラミックスのうち、生体不活性(バイオイナート)材料であるジルコニア(酸化ジルコニウム)は、高強度、耐摩耗性、破壊靱性に優れており、このため、人工関節や人工歯根などに用いられている。
- c. シルク：蚕によりつくり出される天然糸であり、その主成分はフィブロインといわれるタンパク質で、高い機械的強度と生体内非吸収の特性を有し、外科手術用縫合糸として用いられる。
- × d. ポリエチレン：ポリエチレンは合成高分子材料のうち、加熱によって軟化し、冷えると硬くなる性質を持つ熱可塑性樹脂の代表的なもので、注射器、留置針、カテーテルなどの硬質医療用具の材料として用いられる。輸血バッグには、軟質医療用具材料としてのポリ塩化ビニルが利用されている。

- × e. ポリスルホン：合成高分子系膜のうちでも透水性に優れているため，血液透析膜のみならず血液濾過膜としても用いられている。なお，人工血管の材料としては，延伸ポリテトラフルオロエチレン(ePTFE)が使用されている。



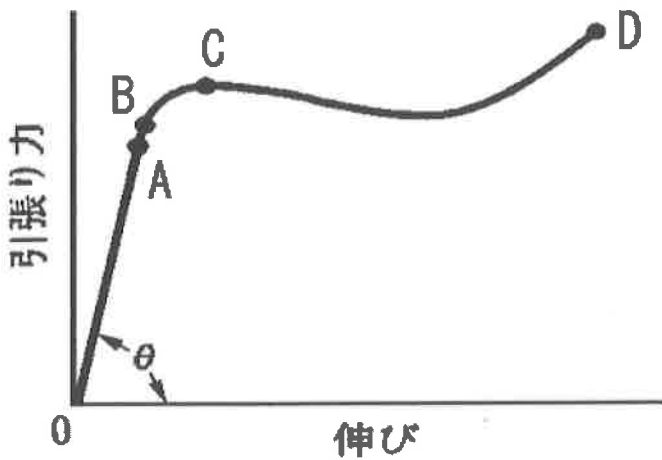
【問題 36】 外力を受けた材料が示す現象や性質について正しいのはどれか。番号を解答欄  (30)  にマークせよ。[ 6 ]

- a. クリープとは外力が一定でも変形し続ける現象をいう。
- b. 延性とは外力に対して板状に伸びる性質をいう。
- c. 弾性とは外力を加えると変形するが、取り除くと元の形に復元する性質をいう。
- d. 脆性とは外力に対して粘り強く、衝撃によく耐える性質をいう。
- e. 靱性とは外力を取り除いても、元の形に復元しない性質をいう。

- 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】 (30) 2)

【解説】 外力を受けた材料は下図のように力に対して伸びが生じる。図はプラスチックなど高分子材料が示す性質であるが、金属などでは C から D の間が一般的に上に凸になる。



O-A は力と伸びが比例関係にあり、O-B は弾性の性質を示し B はその限界(弾性限界)である。C は降伏点と呼ばれ、この部分でクリープという現象が生じる。その後、材料は荷重が大きく変化しなくても伸び続け破断する。

O-A の角度  $\theta$  が大きい材料は硬く、小さい材料は柔らかい。また、C-D が

短い材料は脆く、長い材料は強靱な材料である。

- a. クリープは同図の降伏点付近で生じ、荷重を加えなくても伸びが進む現象である。
- × b. 材料に引っ張り荷重を加えた場合、線状に延ばすことができる性質である。材料が破断する場合、粘りのある延性破壊と脆性破壊がある。
- c. 外力と変形は上図のように表され、O-B が弾性を示す範囲で外力を除くと伸びもなくなる。
- × d. 脆性とは材料が外力に対して脆い性質であり、上図で C-D が短い。多くの材料は一般的に高温では粘りが出るが、低温になると脆くなる。
- × e. 靱性とは上図の C-D が長いので粘り強く、衝撃にも耐える性質である。外力を取り除いても元の形に復元しない性質は固体では塑性、流動体では粘性という。

【問題 37】 生体反応に関する説明について、以下の問いに答えよ。

37-1 リン酸カルシウムなどのミネラル成分が医用材料表面や内部に沈着し、硬くなることをなんというか。番号を解答欄 ③① にマークせよ。[3]

- 1) 補体の活性化
- 2) 石灰化
- 3) カプセル化
- 4) 組織肥厚化
- 5) 腫瘍化

37-2 上記の生体反応は次のどれに分類されるか。番号を解答欄 ③② にマークせよ。[3]

- 1) 急性毒性反応
- 2) 急性異物反応
- 3) 慢性毒性反応
- 4) 慢性異物反応
- 5) アレルギー反応

【正解】 ③① 2) ③② 4)

【解説】

37-1 石灰化という。

× 1) 補体の活性化：免疫タンパクの補体が活性化されると、アナフィラトキシンという低分子ペプチドが産生され免疫系細胞に情報伝達が行われる。この結果、好中球の凝集性、粘着性や走化性などが亢進され、同時に MAC (細胞膜攻撃体) が形成される。

○ 2) 石灰化

× 3) カプセル化：移植した医用材料はコラーゲン繊維性結合組織によって包み

込まれ薄い膜に覆われる。これをカプセル化という。

- ×4) 組織肥厚化：生体材料を植え込んだとき、一連の炎症反応が生じた後生体材料は結合組織に被われる。この結合組織が肥厚化した場合を組織肥厚化といい、肉芽が形成される。
- ×5) 腫瘍化：生体に植え込んだ材料は腫瘍化することがある。

### 37-2 慢性異物反応である。

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

【問題 38】 医用材料の安全性試験において、材料抽出液の体内注入を必要としない試験はどれか。番号を解答欄  にマークせよ。[ 6 ]

- a. 細胞毒性試験
- b. 感作性試験
- c. 皮内反応試験
- d. 急性毒性試験
- e. 遺伝毒性試験

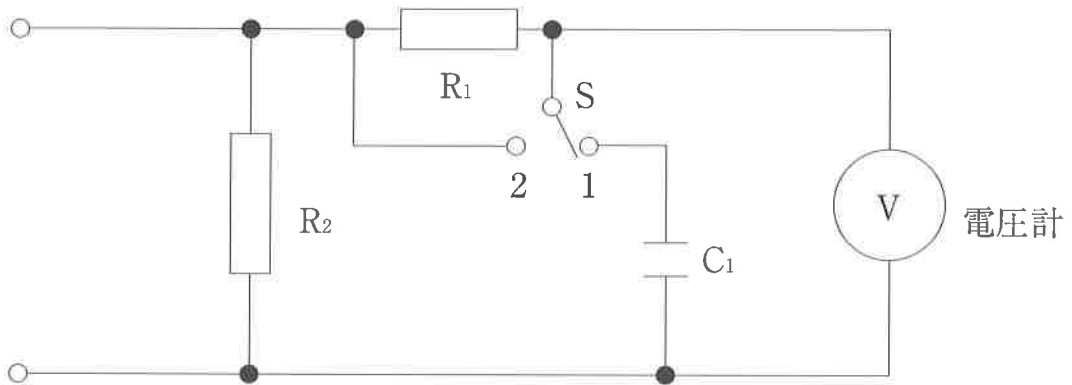
- 1) a, b    2) a, c    3) a, d    4) a, e    5) b, c  
6) b, d    7) b, e    8) c, d    9) c, e    10) d, e

【正解】 ③ 4)

【解説】 医療機器(医療用具を含む)の生物学的安全性試験についての問題である。

- a. 細胞毒性試験：動物レベルでの毒性をより単純な実験系である細胞レベルで明らかにしようとする試験で、間接法と直接法があり、細胞接着性や増殖性などを調べる。材料抽出液の体内注入を必要としない。
- × b. 感作性試験：材料から溶出してくる化学物質による遅延型接触アレルギーのリスクを予測するための試験。モルモットなどの動物の皮下に試験試料の抽出液を注入して、皮膚反応等を調べる。
- × c. 皮内反応試験：試験材料から溶出する物質の組織傷害性、刺激性を評価する。抽出液をウサギの試験部に注入あるいは塗布して経過観察する。
- × d. 急性毒性試験：試験材料抽出液を 5 匹のマウスに静脈内もしくは腹腔内投与して急性毒性の有無を調べるものである。
- e. 遺伝毒性試験：1 個の細胞に生じた DNA 傷害による遺伝子突然変異や染色体異常を起こす毒性物質を検出する試験で、体内注入を必要としない。

【問題1】 ある医用電気機器の正常状態の患者漏れ電流を測定したところ、50 Hz成分が0.008 mA、300 kHz成分が4.5 mAであった。図の漏れ電流の測定用器具(MD)で、スイッチSを1側にして測った場合の電圧計の表示を解答欄  に記入せよ。また、スイッチSを2側にして測った場合の電圧計の表示を解答欄  に記入せよ。[3×2=6]



【正解】 ① 0.017 V (17 mV でもよい) ② 4.5 V

【解説】 スイッチSを1側にして測ると、 $R_1C_1$  フィルタが入るので、高周波成分は減弱する。フィルタの遮断周波数が1 kHzであるから、300 kHzではおよそ1/300になる(厳密には1/300.0017になる)。よって、300 kHz成分は $(4.5 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega) / 300 = 0.015 \text{ V} = 15 \text{ mV}$ となる。一方、50 Hz成分はほとんど減弱しないので、 $0.008 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega = 0.008 \text{ V} = 8 \text{ mV}$ となる。この両者が電圧計にかかる。

複合交流の実効値は、それぞれの「成分の二乗の和の平方根」で表されるので、スイッチSが1側の時は、電圧計は、 $\sqrt{(8^2 + 15^2)} = \sqrt{289} = 17 \text{ (mV)}$ となる。

一方、スイッチSを2側にすると、 $R_1$ はショートされ $C_1$ は切り離されるので、電圧計は直接 $R_2$ の両端に接続されることになり、 $R_2$ に流れた電流に1 k $\Omega$ をかけた電圧を表示することになる。50 Hz成分は上記のままで、0.08 Vであるが、300 kHz成分は、 $(4.5 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega) = 4.5 \text{ V}$ となるので、電圧計は $\sqrt{(0.08^2 + 4.5^2)} = 4.5 \text{ (V)}$ となる。

なお、この問題のように、与えられた電流の数値の有効数字が1～2桁の場合、あまり厳密な計算をする必要はないので、微小部分は省略して考えてよい。また、MDの各要素の誤差は、 $R_1$ 、 $C_1$ では5%、 $R_2$ では1%であるから、これ以上の精度の計算も意味がないことを知るべきである。

【問題 2】 JIS T 0601-1 について誤っているのはどれか。番号を解答欄 

①
---


 にマークせよ。[5]

- 1) 内部電源機器の電源電圧に上限は定められていない。
- 2) 正常な使用時に患者に短時間接触する部分の温度は 50℃以下ならよい。
- 3) CF 形装着部を持つ内部電源機器の患者漏れ電流Ⅲは測定する必要はない。
- 4) 工具を用いずに触れることができる高電圧端子には「危険電圧」の図記号を表示する。
- 5) 固定して永久的に設置した保護接地線の断線は単一故障状態ではない。

【正解】 ① 3)

【解説】 JIS T 0601-1 の条文を引用して解説する。

- 1) 内部電源機器は通常、電池やバッテリーを内蔵するものであるが、その電圧については定められていない。
- 2) 正常な使用時に患者に短時間接触する可能性のある機器の部分の許容最高温度は 50℃である。
- × 3) 19.4 試験の中の h) 患者漏れ電流の測定には、「7) F 形装着部をもつ内部電源機器は、6) に追加して図 24 に従って試験する。変圧器 T2 の設定する電圧の値は、電源周波数 [19.1 b) 参照] で 250 V とする。」と定められており、図 24 には「内部電源機器の F 形装着部を経て外装に流れる患者漏れ電流-III の測定回路 [19.4 h) 参照]」と測定法が図示されている。
- 4) 6.1 機器又は機器の部分の外側の表示に「s) 高電圧端子盤 工具を使用せずに接触できる機器の外側の高電圧端子盤には、“危険電圧”の図記号(附属書 D, 表 D2 の図記号 6 参照)を表示する。」と定められている。以下に、付属書 D, 表 D2 の図記号 6 を示す。

6		60878-03-01	危険電圧
---	---	-------------	------



○5) 「3.7 この規格においては、次の現象は発生するおそれがないと考える。

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


【問題 3】 JIS T 0601-1-1 に従って医用電気システムを組む場合に使用されるマルチタップについて誤っているのはどれか。番号を解答欄 ② にマークせよ。[5]

- 1) クラス I でなければならない。
- 2) 「注意」附属文書を見よ」という図記号を付けなければならない。
- 3) 分離変圧器付きマルチタップの最大許容出力は 1kVA までとする。
- 4) マルチタップは床に置いてはいけない。
- 5) 分離変圧器付きマルチタップと機器との接続は、工具を用いないで接続できる構造でよい。

【正解】 ② 3)

【解説】 JIS T 0601-1-1 で言う「マルチタップ」というのは、いわゆる「テーブルタップ」のことであるが、医用電気システムとは、複数の機器の電源をマルチタップから供給するものか、機器の間に機能的接続があるものである。その中の、マルチタップにはいくつかの要求事項がある。

- 1) 「附属書 EEE(規定)マルチタップに関する要求事項」に「マルチタップはクラス I で、かつ、保護接地線はソケットの接地刃に接続する。」と定められている。
- 2) 「マルチタップは、JIS T 0601-1 の附属書 D の表 D1 の図記号 14 の表示をしなければならない。」としている。この図記号は、次のようなものである

14		60348	注意, 附属文書を見よ
----	---	-------	-------------

- × 3) 「分離変圧器は、IEC 60989 の要求事項に適合しなければならない。ただし、最大定格出力(1kVA)及び保護の程度(IPX4)を除く。」とされているので、最大許容出力は 1kVA 以上でもよい。

- 4) 6.8.201 システムの附属文書の中に「マルチタップを床に置いてはならないという警告」を含めるよう指示している。
- 5) 「57.2.201 マルチタップ機器とマルチタップとの接続は、工具を使用しなければ接続できないか、又はマルチタップは分離変圧器を介して給電する。」と書かれており、分離変圧器を組み込んだマルチタップに関しては、工具を用いないで接続できる構造でもよいと読める。

【問題 4】 2007 年 4 月から施行に移された改正医療法および同改正施行規則で盛り込まれた医療機器の安全対策に関する事項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. 看護師は医療機器安全管理責任者にはなれない。
- b. 病院長は、医療機器安全管理者との併任が可能である。
- c. 医療機器の安全使用を確保するため、添付文書の管理が義務づけられた。
- d. AED は保守点検計画の策定および保守点検が必要な医療機器である。
- e. 医療機器の安全対策が必要な医療機関として、助産所が含まれている。

- 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】 ③ 9)

【解説】 この設問は、2007 年(平成 19 年)4 月より施行に移された改正医療法および同改正施行規則に関するものである。この改正医療法および同改正施行規則には、医薬品、感染および医療機器に関する安全対策が盛り込まれた。

このうち、医療機器に関しては、病院・診療所または助産所などの医療機関(病院等)における医療機器の安全使用を確保するため、幾つかの事項が各医療機関に義務づけられた。そのうちの主な点を以下に示す。

- (1) 病院等の管理者は、医療機器の安全使用のための責任者(医療機器安全管理者)を配置すること。
- (2) 医療機器安全責任者は、医療機器の適切な使用法、保守点検の方法等、医療機器に関する十分な経験および知識を有する常勤職員であり、医師、歯科医師、薬剤師、助産師(助産所の場合に限る)、看護師、歯科衛生士(主として歯科医業を行う診療所に限る)、診療放射線技師、臨床検査技師または臨床工学技士のいずれかの資格を有していること。なお、医療機器の適切な保守を含めた包括的な管理に係わる実務を行うことができる者であ

- ること。
- (3) 医療機器安全管理責任者は、病院においては管理者との兼務は不可とする。
  - (4) 医療機器安全管理責任者は、①従業者に対する医療機器の安全使用のための研修の実施、②医療機器の保守点検に関する計画の策定および保守点検の適切な実施、③医療機器の安全使用のために必要となる情報の収集その他の医療機器の安全使用を目的とした改善のための方策の実施に関する業務を行うこと。
  - (5) 医療機器の安全使用のための研修は、①新しい医療機器の導入時の研修のほか、②特定機能病院における定期研修として、とくに安全使用に際して技術の習熟が必要と考えられる医療機器に関して、年 2 回程度、定期的実施すること。
  - (6) 医療機器の保守点検に関する計画の策定と保守点検の実施に関して、保守点検が必要と考えられる医療機器として、次のようなものが含まれる。②人工心肺装置および補助循環装置、②人工呼吸器、③血液浄化装置、④除細動装置(自動体外式除細動器：AED を除く)、⑤閉鎖式保育器、⑥診療用高エネルギー放射線発生装置(直線加速器等)、⑦診療用放射線照射装置(ガンマナイフ等)、⑧診断用粒子線照射装置
  - (7) 医療機器の安全使用のために必要となる情報の収集その他の医療機器の安全使用を目的とした改善のための方策の実施については、①添付文書、取扱説明書等の管理、②医療機器の不具合情報や安全性情報等の安全使用に必要な情報の製造販売業者からの一元的収集、③病院等の管理者への報告を行うこと。

上記の事項から、本設問についての正誤は、a：×，b：×，c：○，d：×，e：○であり、正解は 9) である。

【問題5】 薬事法上誤っているものはどれか。番号を解答欄④にマークせよ。[5]

- 1) 医療機器とは、疾病の診断、治療、又は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であって、政令で定めるものをいう。
- 2) 一般医療機器の製造販売をしようとする場合は、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。
- 3) 厚生労働大臣は、製造販売の承認が必要な医療機器について、承認のための審査を独立行政法人医薬品医療機器総合機構(PMDA)に行わせることができる。
- 4) 特定医療機器とは、保健衛生上の危害の発生又は拡大を防止するためにその所在が把握されていることが必要な医療機器である。
- 5) 医療機器規制国際整合化会議(GHTF)の分類ルールに基づき決められた「クラスⅢ」とされた医療機器は、高度管理医療機器である。

【正解】 ④ 2)

【解説】

- 1) 薬事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であって、政令で定めるものをいう。』とされている。
- ×2) 薬事法第十四条第一項では「医療機器(一般医療機器及び同項の規定により指定する管理医療機器を除く。)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。」(抄)とされている。
- 3) 薬事法第十四条の二第一項では『厚生労働大臣は、機構に、医療機器のうち政令で定めるものについての前条第1項又は第9項の規定による承認の

ための審査及び同条第5項の規定による調査並びに同条第6項(同条第9項において準用する場合を含む。)の規定による調査を行わせることができる。』(抄)とされている。

- 4) 薬事法第七十七条の五第一項では「人の体内に植え込む方法で用いられる医療機器その他の医療を提供する施設以外において用いられることが想定されている医療機器であって保健衛生上の危害の発生又は拡大を防止するためにその所在が把握されている必要があるものとして厚生労働大臣が指定する医療機器(以下「特定医療機器」という。)については、特定医療機器の植込みその他の使用の対象者の氏名、住所、その他の厚生労働省令で定める事項を記録し、かつ、これを適切に保存しなければならない」(抄)とされている。
- 5) 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。』

【問題6】 医療機器の修理および保守点検について不適切なのはどれか。番号を解答欄⑤にマークせよ。なお、特管は特定保守管理医療機器、非特管は特定保守管理医療機器以外の医療機器を指す。[5]

- 1) 心電計の保守点検を特管第二区分の許可を受けた修理業者に依頼した。
- 2) 心電計の修理を修理業の許可を持たない当該心電計の製造業者に依頼した。
- 3) 心電図モニタのオーバーホールを特管第二区分の許可を受けた修理業者に依頼した。
- 4) 心電図モニタの修理を特管第二区分の許可を受けた修理業者に依頼した。
- 5) 非特管第二区分の医療機器の修理を特管第二区分のみの許可を受けた修理業者に依頼した。

【正解】 ⑤ 5)

【解説】 医療機関が医療機器の保守点検や修理を外部(業者)へ委託するとき医療法および薬事法の規制を受ける。したがって関係する事項については十分理解しておく必要がある。

- 1) 心電計の保守点検は特管第二区分の許可があれば可能であり適切である。
- 2) 自ら製造した機器の修理はその製造業者に認められており適切である。
- 3) 心電図モニタは特管第二区分に分類され、オーバーホールは修理の一環であるため適切である。
- 4) 心電図モニタは特管第二区分に分類されており適切である。
- ×5) 非特管第二区分の医療機器の修理は、非特管第二区分の修理業の許可を受けた修理業者に許され、特管第二区分の許可だけでは許されていないため不適切である。



【問題 7】 病院電気設備の接地設備に関して JIS T 1022 の規定に照らして正しいのはどれか。番号を解答欄  にマークせよ。[ 5 ]

- 1) 等電位接地のための接地極は保護接地のための接地極とは別に設ける。
- 2) 医用接地極の接地抵抗は 100 Ω 以下でなければならない。
- 3) 医用接地センタと医用接地端子との接続のための接地分岐線の色は黒でなければならない。
- 4) 接地分岐線の抵抗は 20 A 以上の直流で測定する。
- 5) 医用接地センタを接地幹線に接続する場合は、医用接地センタのリード線を 2 本一括して接続する。

【正解】 ⑥ 5)

【解説】

- × 1) 等電位接地を施す設備は、保護接地と同様に、医用接地センタに 0.1 Ω 以下の接地分岐線で接続しなければならない。
- × 2) 「医用接地方式に用いる接地抵抗値は、通常、10 Ω 以下とする。ただし、10 Ω 以下とすることが困難な場合には、医用室に b) の等電位接地を行うことによって、接地抵抗値を 100 Ω 以下とすることができる。」としており、原則 10 Ω 以下である。
- × 3) 「接地分岐線は、JIS C 3307 又は JIS C 3612 に適合し、公称断面積が  $5.5 \text{ mm}^2$  以上で、かつ、絶縁体の色が緑/黄のしま模様又は緑の絶縁電線を使用する。」としており、「緑/黄または緑」でなければならない。
- × 4) 「医用コンセントの接地極刃受け又は医用接地端子の端子部と、医用接地センタとの間の電気抵抗は、無負荷電圧が 6 V 以下の交流電源によって約 25 A の電流を流し、電圧降下法で測定したとき、0.1 Ω 以下とする。」としており、25 A の商用交流で測定することになっている。
- 5) 「接地幹線を医用接地センタへ接続する場合は、医用接地センタボディーのリード線 2 本を一括して堅固に接続する。」としている。

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

- a. コンセントの接地極刃受けは大地に繋がっていない。
- b. 絶縁変圧器の定格容量の上限は JIS により規定されている。
- c. 絶縁監視装置は漏れ電流を測定して監視している。
- d. 1 線地絡事故が起きてもブレーカは落ちない。
- e. 非接地配線方式では電撃は起きない。

- 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】 ⑦ 6)

【解説】

- × a. 接地極刃受けは接地分岐線，接地幹線，接地極を通り大地に繋がっている。
- b. 絶縁変圧器の 1 次 2 次巻線間の漏れ電流が JIS で 0.1 mA 以下に規定されている。電源容量が大きくなれば漏れ電流も大きくなるため電源容量の上限が 7.5 kVA 以下と規定されている。
- × c. 絶縁監視装置は電源導線のいずれか一方と接地との間に高周波電流を流し，絶縁抵抗を測定している。この方法で地絡が起こった場合の漏れ電流を知ることができるが実際の漏れ電流を測定しているわけではない。
- d. 1 線地絡事故が起こった状態では非接地配線方式から片側接地配線方式に変わっただけなので過電流ブレーカは落ちない。非接地配線方式は地絡が起きても電力の供給を途絶えさせないためのシステムである。
- × e. 絶縁監視装置が警報を発するのは電源導線と接地間の絶縁抵抗が 50 kΩ 以下になった時である。地絡が起こった時には 2 mA の漏れ電流に相当する。2 mA 未満は正常状態であるが，最小感知電流の 1 mA を超え，マイクロショックでは心室細動が起きる。

【問題 9】 医療ガス配管設備について正しいのはどれか。番号を解答欄  にマークせよ。[4]

- a. 配管端末器での酸素の供給圧力は 15 MPa 程度である。
- b. 配管端末器での亜酸化窒素の最大流量は標準状態で 60 l/min 以上である。
- c. 手術機器駆動用窒素の配管端末器には DISS コネクタが用いられる。
- d. 麻酔ガス排除用配管の識別色はマゼンタである。
- e. シャットオフバルブは常時「閉」の状態で使用される。

- 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】 ⑧ 8)

【解説】 医療ガスが患者の生命に直結するため、医療ガス配管設備の安全確保のために下記のような保安概念を持つ。

- ①医療ガスの品質保持：異種ガスの接続防止，交差接合の防止，不純物の侵入防止など
- ②医療ガスの誤用防止：ガス種別の色分け，ガス別特定コネクタの採用など
- ③供給失調の防止：警報システムの管理，予備ガスの備蓄，非常供給システムの考慮など

医療ガス配管設備については JIS T 7101 で規定されている。なお，規定範囲はガス供給源から人工呼吸器や麻酔器などのホースアセンブリまで規定している。

- × a. 酸素の配管端末器での標準供給圧は  $400 \pm 40$  kPa であり，酸素は他のガスよりも 30 kPa 程度高いことが規定されている。15 MPa は気体充填時の一般的なボンベ内圧である。
- × b. 亜酸化窒素は 40 l/min 以上である。60 l/min 以上は酸素，治療用空気である。
- c. DISS (Diameter-Index Safety System) コネクタは誤接続防止のために採用

される「おす・めす」一対のねじ式接続具で、手術機器駆動用窒素ガスのガス別特定コネクタである。なお空気は NIST (Non-interchangeable screw-threaded) コネクタが用いられる。

○ d. 下表を参照のこと

× e. シャットオフバルブとは、医療ガスの保守点検や災害時などに医療ガスの供給を遮断させるバルブ(遮断弁)のことで、日常のガス使用時は「開」の状態である。

**医療ガス配管設備のガス別識別色**

ガスの種類	識別色
酸素	緑
亜酸化窒素(笑気)	青
治療用空気	黄色
吸引	黒
二酸化炭素	橙色
窒素	灰色
駆動用空気	褐色
非治療用空気	うす黄色
麻酔ガス排除	マゼンタ

【問題10】 下記は、高圧ガス容器(ボンベ)を貯蔵(保管)する際の注意事項について一般高圧ガス保安規則に規定されている条文である。空欄に当てはまる番号を解答欄  ~  にマークせよ。[3 × 2 = 6]

10-1 容器置場の周囲  メートル以内においては、火気の使用を禁じ、かつ引火性または発火性の物を置かないこと

- 1) 1.0    2) 1.5    3) 2.0    4) 3.0    5) 5.0

10-2 充てん容器等は、常に温度  °C 以下に保つこと

- 1) 20    2) 25    3) 30    4) 40    5) 50

【正解】 ⑨ 3)    ⑩ 4)

【解説】 高圧ガス容器(ボンベ)の貯蔵(保管)が不適切な場合にはいろいろな問題が起こる危険性がある。転倒によるバルブの開放や環境温の上昇による安全弁の開放によりガスが放出され、酸素、空気、亜酸化窒素のような支燃性ガスでは引火性や発火性のものがあると火災の危険性がある。閉鎖された部屋での二酸化炭素、窒素等の噴出が起これば、酸欠事故を起こす危険性がある。また、転倒によるバルブの開放でボンベが飛び跳ねる危険性がある。このようなことを起こさないためには、高圧ガス保安法の関連規則である一般高圧ガス保安規則に規定された注意事項を守る必要がある。参考までに一般高圧ガス保安規則の該当事項を【備考】に示す。

10-1 一般高圧ガス保安規則では、「容器置場(不活性ガス及び空気のものを除く。)の周囲二メートル以内においては、火気の使用を禁じ、かつ、引火性又は発火性の物を置かないこと。」となっている。

10-2 一般高圧ガス保安規則では、充てん容器等は、常に温度四十度以下に保つこととなっている。

**[備考]**

一般高圧ガス保安規則

第六条の2項

八 容器置場及び充てん容器等は，次に掲げる基準に適合すること。

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

【問題11】 自発呼吸が必要な換気モードはどれか。番号を解答欄⑪にマークせよ。[6]

- a. IMV
- b. PCV
- c. VCV
- d. CPAP
- e. NPPV

- 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 10)

【解説】

- × a. 間欠的強制換気(intermittent mandatory ventilation) 患者の自発換気に関係なく一定時間ごとに強制換気を行う換気法。自発換気のない場合に用いる。
- × b. 圧規定換気(pressure control ventilation) あらかじめ設定した吸気時間の間、軌道内圧を設定圧に維持する換気法。自発換気の有無にかかわらず用いられる。
- × c. 量規定換気(volume control ventilation) あらかじめ設定した換気量を送気時に生じる気道内圧とは無関係に矯正的に送る換気法。自発換気の有無にかかわらず用いられる。
- d. 持続的気道陽圧(continuous positive airway pressure) 自発換気の全過程を通して気道内圧を陽圧に保つ換気法。
- e. 非侵襲的陽圧換気(noninvasive positive pressure ventilation) 人工気道(気管チューブや気管切開チューブなど)を用いず各種マスクを装着して換気補助を行う方式。意識が明瞭で自発換気できる事が必要。

【問題 12】 人工呼吸器の使用中に酸素の供給圧が低下し、その後酸素供給が停止した。考えられる原因はどれか。番号を解答欄(12)にマークせよ。[6]

- a. 気道内圧の異常低下
- b. 過電流ブレーカの遮断
- c. マニフォールドボンベの切替え不良
- d. 加温加湿器の空焚き防止装置作動
- e. ホースアセンブリの折れ曲がり

- 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】 生命維持管理装置が何らかの要因によって、停止したり作動異常を起こすと、直接患者の生命に影響を与えることになりかねない。特に人工呼吸器は酸素などの各種ガスを用いていることから、ガスの供給方法やその設定、配管設備など日常点検や定期点検を行うことが必須であり、日頃から起こりうるトラブルについて習熟しておくとともに、発生時には迅速かつ適切な対応が求められる。

- × a. 酸素供給圧の低下は、患者側の気道内圧とは関係ない。
- × b. 過電流ブレーカが遮断した場合は、人工呼吸器自体が停止するか非常電源に切り替わる(バッテリー内蔵の場合はバッテリー駆動に切り替わる)。
- c. ガス配管設備として、ガスボンベによるマニフォールドシステムを用いている場合、片方の酸素ボンベが空になったときにもう一方のボンベに切り替わらない場合は、供給圧低下につながる。
- × d. 加温加湿器は酸素供給圧とは関係ない。
- e. 配管設備上のホースが何らかの原因で折れ曲がってしまった場合は、供給される酸素ガスの圧力低下につながる。



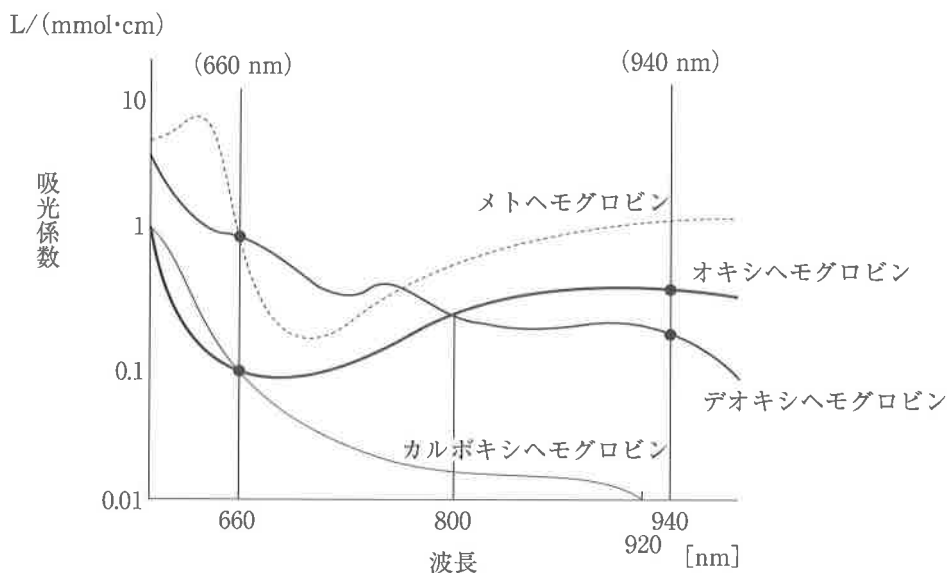
【問題13】 気流速度計(ニューモタコメータ)の説明について空欄にあてはまる語句を解答欄  ～  に記述せよ。[3×2=6]

気流速度計(ニューモタコメータ)は気体の流れる回路に抵抗体を配置し、その前後の  を測定することによって気流量(気流速度)を求める装置である。抵抗体に金属細管の束を用いた  型と金属網を用いたリリー(Lilly)型がある。

【正解】 ③ 圧力差 ④ フライシュ(Fleisch)

【解説】 気流を層流と仮定した時、その気流が流路に配置された抵抗体を通過するときに生じる圧力較差は流量に比例するという Poiseuille の式を用いて、抵抗体の入り口と出口の圧力差を測定することで流量が測定できる。流路の圧較差の測定は差圧型圧力センサが用いられる。リリー型の抵抗体は目の細かなステンレス製の金網(メッシュ構造)を用いている。

【問題14】 図はパルスオキシメータにおけるオキシヘモグロビン，デオキシヘモグロビン，および異常ヘモグロビンであるメトヘモグロビン，一酸化炭素と結合したカルボキシヘモグロビンの吸光特性を示したものである。正しいのはどれか。番号を解答欄  にマークせよ。[6]

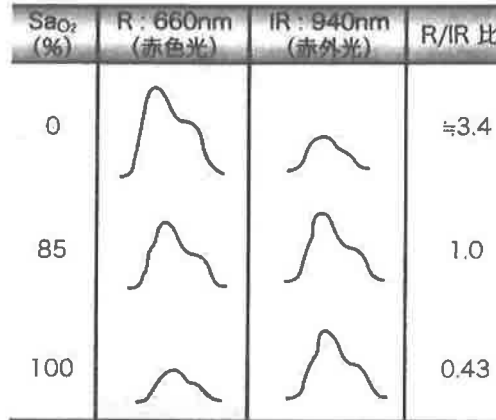


- 1) オキシヘモグロビンは赤外光をあまり吸収せず，赤色光をよく吸収する。
- 2) 赤色光はデオキシヘモグロビンよりもカルボキシヘモグロビンに良く吸収される。
- 3) メトヘモグロビンの増加は酸素飽和度計算に影響しない。
- 4) 測定する光に対する吸光係数が大きいほど光電脈派の振幅は小さくなる。
- 5) 2波長を用いる理由はオキシヘモグロビンとデオキシヘモグロビンを主たる計測対象にしたためである。

【正解】 ⑬ 5)

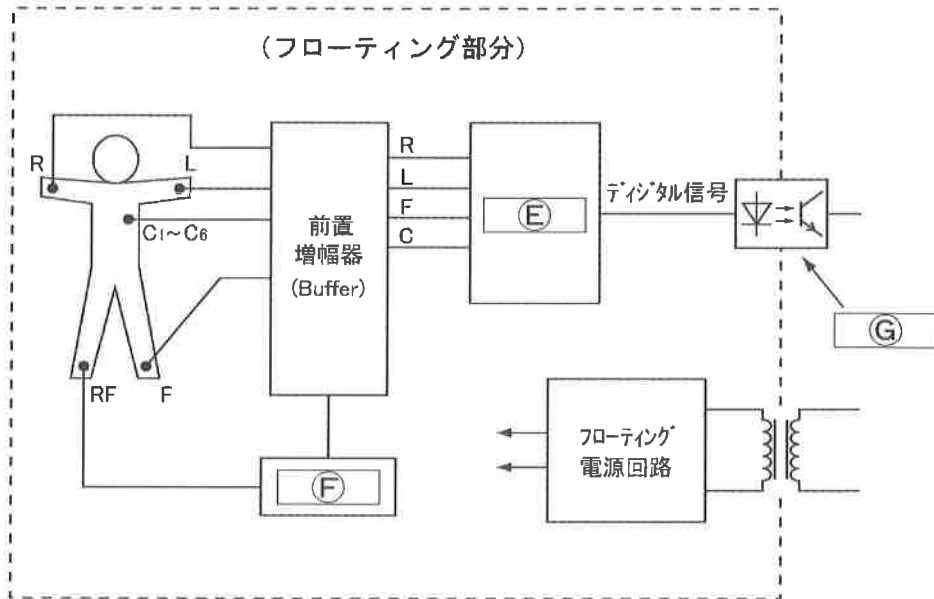
【解説】 パルスオキシメータの基礎的技術としての吸光特性について考えてみる問題。

パルスオキシメータの基本原理は、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の違いに着目したランバートーベールの法則による濃度計測と、容積脈波測定法による動脈血のみに着目した脈波高計測の二つである。



- × 1) オキシヘモグロビンは赤外光をよく吸収し、赤色光をあまり吸収しない。  
図から直接読み取れる。
- × 2) 赤色光はカルボキシヘモグロビンよりもデオキシヘモグロビンに良く吸収される。図から直接読み取れる。
- × 3) メトヘモグロビンは両波長において吸収係数が最も大きいため、この増加は光電脈波の振幅変化の主な成因となり、オキシ、デオキシヘモグロビンの脈波振幅変化への寄与の程度を相対的に弱めてしまう。メトヘモグロビンは二つの波長における吸光係数がほぼ等しいため、赤色光脈波振幅 / 赤外光脈波振幅 (R/IR 比) ≒ 1 に近づき、酸素飽和度計算値を 85 % 前後に収束させようとする。
- × 4) 測定光に対する吸光係数が大きいと、光を吸収するヘモグロビンの血流量 (個数) の増減を示す脈波の振幅は大きくなる。
- 5) 原則的に、異常ヘモグロビンを含めた全てのヘモグロビンを計測するには、それぞれのヘモグロビンの吸光特徴を示す波長の光を用いる必要がある。2 波長のみ使用するのには主にオキシヘモグロビンとデオキシヘモグロビンのみの計測に限定したもので、異常ヘモグロビンが増加するような症例を除き十分な計測精度を保つことができる。又、LED 等のセンサが 2 種類で済み、安価で小型化が可能となる。

【問題 15】 図はデジタル心電計のフローティング部分(破線内)を示す。図中の **(E)**、**(F)** に当てはまる処理回路の名称、**(G)** の図記号の部品名をそれぞれ**解答欄** **(E)** ~ **(G)** に記入せよ。[2×3=6]



【正解】 (E) A/D 変換器, A/D コンバータ

(F) 右足帰還(回路), RF ドライブ

(G) フォトカプラ, オプトカプラ, オプトアイソレータ, 光結合素子

【解説】 図はデジタル心電計のフローティングされた入力部のブロック図である。四肢および前胸部に装着された電極の内の右足(RF)以外の9個の電極の信号は、入力インピーダンスが極めて高いバッファアンプ(前置増幅器)に同位相で取り込まれた後に、A/D コンバータ(処理回路E)に送られデジタル信号に変換される。このデジタル信号は光結合素子(部品G)によって接地から絶縁(フローティング)された状態で後段の制御回路に送られる(なお、電源回路の絶縁にはトランス結合が用いられる)。

処理回路Fは、フローティングされた入力部内に基準電位(接地回路の大地に相当)をつくるために、右足の電位がウィルソンの中心電極の電位と等しくなる

ように負帰還を施すための回路で、右足帰還(回路)と呼ばれる。

デジタル心電計において、実際に計測されるのは I、II 誘導と  $V_1 \sim V_6$  誘導のみで、その他の III 誘導、 $aV_R$ 、 $aV_L$  および  $aV_F$  誘導の波形はソフト上の計算から求めている(計算式は講習会テキストの p.174 を参照)。これは、信号を同位相で取り込んでいることから演算が可能となる。従って、アナログ心電計で用いられた差動増幅器はデジタル心電計では不要である。

【問題16】 植込み型ペースメーカー、心臓再同期療法(CRT)ならびに植込み型除細動器(ICD)について誤っているのはどれか。番号を解答欄(14)にマークせよ。[6]

- a. CRTの左室ペーシングリードは冠状静脈に留置される。
- b. CRTの有効症例ではQRS幅は増加する。
- c. CRT-DはCRTとICDの両方の機能がある。
- d. VDDペースメーカーには心房ペーシング機能がある。
- e. VOOの設定にすれば電気メスの影響を受けにくくなる。

- 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】 (14) 6)

【解説】 最近、植込み型ペースメーカーの適用範囲が広がり、心不全患者に対する心臓再同期療法(CRT)機能付きのペースメーカーや、さらにCRT機能に加えて心室細動発生リスクの高い患者に対する除細動器機能付きのCRT-Dなども使用されるようになってきている。

- a. CRTの左室ペーシングリードは左室に直接留置することができないので、冠状静脈洞から挿入し冠状静脈の左室側に留置される。
- × b. CRTは左右の同期が不良でQRS幅が広がった心不全患者に適用され、有効症例では左右の同期が取れるのでQRS幅は減少する。
- c. CRT-DはCRTとICDの両方の機能を持つ高機能ペースメーカーである。
- × d. VDDペースメーカーには心房ならびに心室センシング機能はあるが、心房ペーシング機能はない。
- e. VOOの設定つまり固定レートにすれば、センシング機能がないので、電気メス等の外部雑音障害の影響を受けにくくなる。

【問題 17】 膜型人工肺について正しいのはどれか、番号を解答欄 ⑮ にマークせよ。〔6〕

- a. 均質膜は長時間使用しても血漿リークが少ない。
- b. 多孔質膜の平均ポア径は約 5 ~ 10  $\mu\text{m}$  である。
- c. 多孔質膜の表面は親水性である。
- d. 複合膜にはポリアクリロニトリルが用いられる。
- e. 中空糸型の中空糸内径は約 200 ~ 400  $\mu\text{m}$  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】 ⑮ 4)

【解説】

- a. 均質膜は長時間使用しても血漿リークが少ない。
- × b. 多孔質膜の平均ポア径は約 0.02 ~ 0.2  $\mu\text{m}$  である。
- × c. 多孔質膜の表面は疎水性である。
- × d. 複合膜にはポリプロピレン+シリコーンまたはポリプロピレン+ポリアルキルスルホンなどが用いられ、ポリアクリロニトリルが用いられることはない。
- e. 中空糸型の中空糸内径は約 200 ~ 400  $\mu\text{m}$  である。

【備考】

参考文献

草川實編：体外循環の実際，南江堂，1991

【問題 18】 下図の補助人工心臓が血液出入り口の圧力差 120 mmHg において、ほぼ定常流 4 ℓ/min で送血している。体外コントローラからの電力供給量が 4.2 W であったとすると、この補助人工心臓の効率はおよそ何%か、番号を解答欄  にマークせよ。[6]

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



【正解】  2)

【解説】

補助人工心臓の出力 = 圧力差 × 流量 =  $120 \times 133 \times 4 / 60000 = 1.064$  [W]

ここで 1 mmHg = 133 Pa, 1 ℓ/min =  $1 / 60000$  m<sup>3</sup>/s

効率 = 人工心臓の出力 / 電力供給量 =  $(1.064 / 4.2) \times 100 = 25.3$  [%]



【問題 19】 血液透析用透析液について、正しいのはどれか。番号を解答欄

(17) にマークせよ。[6]

- a. 血中からの適度な除去を目的に、カリウム濃度は  $2 \text{ mEq/l}$  程度にしている。
- b. 糖尿病患者には無糖透析液が使用される。
- c. 重炭酸系の場合、沈殿防止を目的として原液は二剤化している。
- d. 血中からの喪失防止のため、アミノ酸が添加されている。
- e. 塩分除去を目的に、ナトリウム濃度は  $130 \text{ mEq/l}$  程度にしている。

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

【正解】 ⑰ 2)

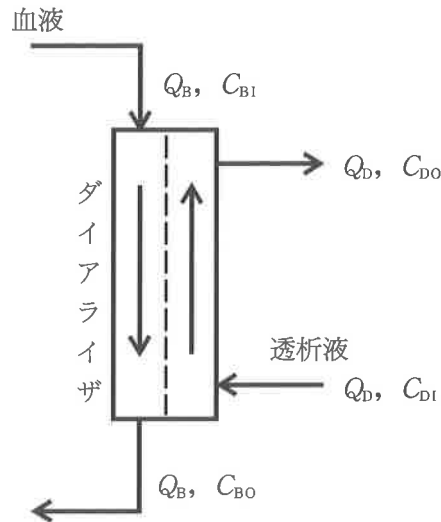
【解説】 血液透析用透析液についての組成に関する問題である。

- a) 血清カリウム濃度は  $4 \sim 5 \text{ mEq/l}$  程度であるが、透析液中のカリウム濃度を  $2 \text{ mEq/l}$  程度にすることにより、適度なカリウム除去が可能である。
- × b) ダイアライザの性能が低かった時代には無糖透析液が使用されたこともあったが、一部の患者で低血糖の起こす恐れがあるため、現在では  $100 \sim 150 \text{ mg/dl}$  程度ブドウ糖を含有した透析液が使用されている。
- c) 重炭酸系の透析液では、重炭酸とカルシウム、マグネシウムが水系で沈殿を生じてしまうため、原液を二剤化して沈殿を回避している。
- × d) アミノ酸は患者にとって有用な物質であるが分子量が低いため透析によって相当量喪失されている。医療経済面から透析液にアミノ酸製剤を添加することはない。栄養バランスのよい食事摂取を患者に心がけていただき、低アミノ酸血症を回避する必要がある。
- × e) ダイアライザの性能が低かった時代にはナトリウム濃度  $132 \text{ mEq/l}$  程度の透析液が使用された。現在ではダイアライザの性能向上とともに、拡散

第17回午後の部

(濃度差)でナトリウムを除去する必要性がほとんどなくなったため、現在では等張(140 mEq/l)に近い透析液が使用されている。

【問題20】 下図は、ダイアライザを流れる血液と透析液の概略図である。



ある患者に透析液流量  $Q_D = 500 \text{ ml/min}$ 、濾液流量  $Q_F = 0 \text{ ml/min}$  の条件下で透析を施行し、1時間経過したときの尿素窒素濃度を血液入口側 ( $C_{B1}$ )、出口側 ( $C_{B0}$ ) ならびに透析液出口側 ( $C_{D0}$ ) で測定したところ、それぞれ 100, 25, 30 mg/dl であった。以下の問いに答えよ。

20-1 血液中の尿素はダイアライザ通過中、血球内外から一様に除去されるものと仮定して血流量  $Q_B$  [ml/min] を求め、番号を解答欄  にマークせよ。[2]

- 1) 150    2) 200    3) 300    4) 600    5) 1250

20-2 使用したダイアライザの尿素クリアランス  $CL$  [ml/min] はいくらか。番号を解答欄  にマークせよ。[2]

- 1) 50    2) 110    3) 150    4) 230    5) 310

20-3 透析終了時の透析液出口側( $C_{D0}$ )尿素窒素濃度が7.5 mg/dlであった。このときの血中尿素窒素濃度 [mg/dl] はいくらか。番号を解答欄  にマークせよ。[2]

- 1) 2.5    2) 5    3) 15    4) 25    5) 30

**【正解】** ⑱ 2) ⑲ 3) ⑳ 4)

**【解説】** ダイアライザの尿素除去に関する計算問題である。

20-1 物質収支  $Q_B(C_{BI} - C_{B0}) = Q_D C_{D0}$  より、次式が成り立つ。

$$Q_B(100 - 25) = 500 \times 30 \quad \therefore Q_B = 200 \text{ ml/min}$$

この時の血流量  $Q_B$  はおよそ 200 ml/min であったことが推察される。

20-2 濾液流量  $Q_F = 0 \text{ ml/min}$  の時のクリアランスは次式で定義される。

$$CL = \left(1 - \frac{C_{B0}}{C_{BI}}\right) Q_B = \frac{C_{D0}}{C_{BI}} Q_D$$

これに代入して求めるクリアランス  $CL$  は次式から推算される。

$$CL = \left(1 - \frac{25}{100}\right) \times 200 = 150 \quad \text{あるいは} \quad CL = \frac{30}{100} \times 500 = 150 \text{ ml/min}$$

20-3 尿素窒素の  $C_{D0}/C_{BI}$  は透析中時間に関係なく一定である。透析終了時の血中尿素窒素濃度  $C_{BI}$  [mg/dl] を以下のように推定することが可能である。

$$\frac{30}{100} = \frac{7.5}{C_{BI}} \quad \therefore C_{BI} = 7.5 \times 100 / 30 = 25 \text{ mg/dl}$$

【問題21】 血液透析で除水を行うと、まず血液中の水(血漿)が抜けるので循環血液量が減少する。その減少した水分を補うため血管の周りの組織間液(間質液)の一部が血管内に移動してくる。このことを何というか。番号を解答欄(21)にマークせよ。[6]

- 1) ポンプレスシステム
- 2) プラズマリフィリング
- 3) プラズマフェレーシス
- 4) ウルトラフィルトレーション
- 5) バイオフィルトレーション

【正解】 ② 2)

【解説】 設問の現象をプラズマリフィリング(plasma refilling)という。プラズマリフィリング(血漿再充填)の速度は個人差があるが、体重50kgの患者で1時間に500～600ml程度といわれている、4時間透析であれば2kg程度までの体重増加(水分増加)であれば楽で安全な除水が可能であると考えられる。

【問題 22】 水処理装置とその管理項目との組合せで正しいのはどれか。番号を解答欄  にマークせよ。[6]

- a. 軟水装置——透過水量
- b. 活性炭濾過装置——導電率
- c. 逆浸透装置——陰 圧
- d. 紫外線殺菌灯——積算使用時間
- e. UF フィルタ——出入口の圧力差

- 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 10)

【解説】

- × a. 透過水量は誤り。軟水化の良否は水の硬度で判定する。ナトリウム型イオン交換樹脂を用いて主に水道水中のカルシウムイオン、マグネシウムイオンをイオン結合により除去する。
- × b. 電解質は誤り。処理水の残留塩素濃度(結合塩素)で処理能力を判定する。遊離塩素、次亜塩素酸イオン、クロリン、クロラミンなど塩素類を吸着除去する。
- × c. 陰圧測定は誤り。電導度(導電率)で処理水の良否を判定する。逆浸透装置の RO 膜は水中のほとんどの電解質成分、バクテリア、パイロジェンを除去する。
- d. 紫外線殺菌灯は点灯時間の経過とともに紫外線出力も低下するため点灯時間で交換時期を判定する。
- e. UF フィルタ(濾過フィルタ)の良否の判定は出口圧・入り口圧(圧力差)で判定する。水道水中にはイオン、有機物、細菌、真菌、藻類、微粒子などに汚染されているため UF フィルタで比較的大きな懸濁粒子や水道配管から剥離する錆などを除去する。

【問題23】 空欄に当てはまる適切な語句を解答欄  ～  に記入せよ。

[2×3=6]

眼振には緩徐相と  があるが、電気眼振計によるこれらの眼振図記録では眼球の変位を記録する原波形記録と眼球の動きの  波形記録を行う必要がある。後者の記録には時定数  秒の高域通過フィルタが必要である。

【正解】 H 急速相 I 速度 J 0.03

【解説】 内耳の三半規管にある感覚細胞(有毛細胞)の活動によって眼球の動きや体平衡が種々調整されている。すなわちその活動は脳神経の一つである前庭神経に伝わって眼球の動きや体のバランス調節を行っている。前庭神経の活動は眼球の動きに関係する前庭動眼系と体の動きのバランス調節に関係した前庭動眼系に分類される。めまいが生ずるとか体がふらつくといった症状はこれらの前庭神経系の疾患によるものである。本問題はこの前庭動眼系の疾患に伴う異常な眼球運動を定量的に測定することのできる電気眼振計による眼振図についての設問である。

左右の眼尻と眼瞼の上下に接着した皿電極によってそれぞれ水平眼振と垂直眼振を記録する測定装置を電気眼振計という。

眼球の動き(眼振)には大きく分けてゆっくりと動く緩徐相と速く動く急速相とがある。今電車に乗って窓から次々と見られる電柱を数える動作をしている場合の目で追っているときの眼球は例えば左から右に一定の速さで動きを追っているが、次の電柱が来たとき右から急速に左に眼球を戻し、再度左から右に電柱を追う目の動きをする。そしてこのような目の動きの繰り返しによって、電柱を次々に追うことができる。このとき目で電柱を追っている左から右に移動する眼球の動きは眼振図上では次第に振幅が高くなるように記録される。次に右から左に急速に元の位置に戻った場合には眼振の振れは急速にもとの基線にもどる。従って眼振図上ではこのような基本的な眼振の記録波形はいわゆる鋸歯状波となる。ゆっくりと振幅上昇をする相を緩徐相、急速にもとに戻る相を急速相という。

緩徐相でも急速相でもその間、眼球がどのような速度で動いたかを測定するために、眼振図検査では眼球の動きそのものを記録する原波形と左から右あるいは右から左に動く速度を同時に計測している。そのため速度波形は原波形を時間で微分する必要がある。

眼振検査では原波形を DC 記録として、速度波形を時定数 0.03 秒 として同時記録している。原波形は DC が望ましいが、通常基線が不安定になることがあるので、時定数を 3.0 秒として記録することが行われている。

従って原波形が鋸歯状波または三角波のときには速度波形は矩形波となり平らな部分は眼球が等速運動をしていることになる。疾患ではこの運動が必ずしも等速運動ではなくなる。この他輝点の追跡運動検査には原波形として正弦波や矩形波などが使われている。



【問題 24】 デジタル脳波計について誤っているのはどれか。番号を解答欄

㉓ にマークせよ。[6]

- a. サンプルング間隔は 10ms 程度である。
- b. 導出法の電極の組み合わせは検査終了後でも可能である。
- c. 判読時にフィルタ設定が可能である。
- d. 判読画面の画素数は少なくとも 800×600 ピクセル以上であれば良い。
- e. 記録感度の変更は判読時でも可能である。

- 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】 ㉓ 3)

【解説】 臨床脳波に必要な脳波計の周波数特性は通常 0.5～100Hz(−3 dB)であるが少なくとも高域特性を 60Hz(−3 dB)程度は必要である。従って学会基準などでは必要なサンプルング周波数は 200 Hz 以上としている。また最近では約 60%以上の施設で判読時に紙記録によらない電子表示画面による波形を見て判読している。

- × a. サンプルング間隔が 10 ms は 100 Hz であるから、高域が 60 Hz または 100 Hz のときのサンプルング周波数は少なくとも 120 Hz または 200 Hz が必要である。
- b. デジタル脳波計ではシステムレファレンス電極を基準とした電極単位の脳波記録がデジタル化されメモリに格納されているので、検査終了後の判読時に種々の電極の組み合わせによる導出法の脳波を画面に描出して見ることができる。
- c. あらかじめ電極単位の脳波記録時に 0.5～100 Hz の帯域に設定しないで、例えば DC～500 Hz のようにできるだけ広帯域で設定し記録しておけば、設問 b と同様に判読時にこの広帯域の中で種々のフィルタ設定が可能で

- ある。これをリフィルタリング機能という。
- × d. 異常脳波の典型である棘波 (spike wave) の持続時間は 30 ~ 80 ms と非常に短いため学会基準ではこの棘波が判読画面上に再現できるためには少なくとも 17 インチ以上の画面上でかつ 10 秒間の記録で 1600 × 1200 ピクセル以上が必要であるとしている。
  - e. 多くのデジタル脳波計では 16 bit で量子化しているものが多く、この範囲で設問 b, c 同様に判読時に振幅表示 (感度) の変更が可能である。

【問題 25】 エチレンオキサイドガス滅菌法の短所を 30 文字以内で解答欄  に記述せよ。[6]

【正解】 ア 解答例：毒性が強くエアレーションが必要である。

【解説】 エチレンオキサイドガス(EOG)滅菌では、通気性のある特殊な医療用包装紙にバックされた医療器具を 50～60℃処理できる特徴を有しているが、用いるガス自身が極めて毒性であり、さらに爆発性を有することから不活性ガスによるエアレーションが必要である。EOG はまた発ガン性が指摘されており、滅菌後の残留も極めて問題となっている。このため、対象物によってはガス脱気に要する時間が1～2週間必要な場合もある。

【問題26】 滴下制御方式のフィンガポンプを使用する場合、流量の設定値に対する誤差の原因になるものはどれか、番号を解答欄(24)にマークせよ。[6]

- a. チューブを強く引っ張って取り付ける。
  - b. 点滴筒が傾いている。
  - c. 表面張力の低い薬剤の輸液を行っている。
  - d. 輸液バッグの位置が患者と同じ高さであった。
  - e. チューブの断面が楕円に変形している。
- 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】 (24) 5)

【解説】

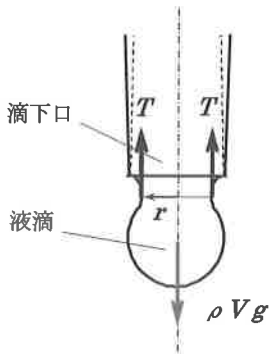


図1 液滴の形成

$$2 \pi r T = \rho V g$$

$$V = \frac{2 \pi r T}{\rho g}$$

$$\begin{cases} V : \text{液滴体積} \\ T : \text{表面張力} \\ r : \text{くびれ部半径} \\ \rho : \text{薬液密度} \end{cases}$$

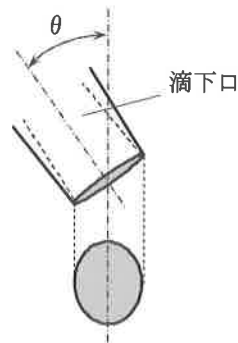


図2 滴下口の傾き

点滴筒内での液滴は図1のように表面張力と液滴の重力が釣り合った状態で形成される。

図2のように点滴筒が傾くと滴下口の周囲長が見かけ上楕円形に減少する。

滴下制御方式のフィンガポンプでは点滴筒内で形成される液滴の体積がいつも一定であるとして流量の制御を行っている。

- a. チューブを強く引っ張って取り付け、チューブ径が減少しても流量精度に影響が出ない。
- × b. 点滴筒が傾いていると、見かけ上滴下口の周囲長が減少し、1滴の体積が減少するので流量が低下する。
- × c. 表面張力の低い薬剤の輸液を行っていると表面張力とつり合う液滴質量が減少するので、1滴の体積が減少し流量が低下する。
- d. 水頭圧の影響を受けないので、輸液バックが患者と同じ高さになっていても流量精度に影響がない。
- e. チューブの断面が楕円に変形して断面積が減少しても流量精度に影響が出ない。

【問題 27】 低域遮断周波数が最も高いのはどれか。番号を解答欄  にマークせよ。〔6〕

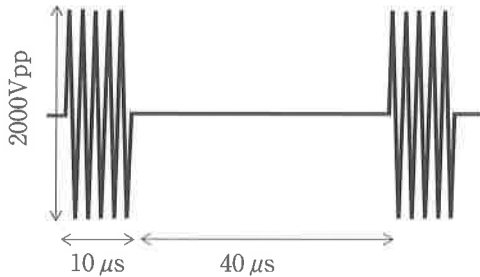
- 1) 脳波計
- 2) 眼振計
- 3) 心電計
- 4) 筋電計
- 5) 脈波計

【正解】 ⑤ 4)

【解説】 選択肢はいずれも生体現象の測定装置である。対象となる生体現象の内で臨床に必要とされる周波数成分により低域遮断周波数の規格が決められている。装置により時定数として表されるものもある。

- × 1) 脳波の周波数帯域は 0.5 ~ 120 Hz 程度とされる。低域遮断周波数は 0.5 Hz (時定数 0.3 秒) である。
- × 2) 眼振の周波数成分は 0.05 ~ 20 Hz とされる。低域遮断周波数は 0.05 Hz (時定数 3.2 秒) である。
- × 3) 心電図の周波数は 0.05 ~ 100 Hz 程度とされる。低域遮断周波数は 0.05 Hz 以下 (時定数 3.2 秒以上) である。
- 4) 筋電図の周波数特性は 5 ~ 10 kHz とされる。低域遮断周波数は 5 Hz (時定数 0.03 秒) である。
- × 5) 光電式脈波計の周波数特性は 0.1 ~ 50 Hz である。低域遮断周波数は 0.1 Hz 程度である。

【問題 28】 ある電気メスの凝固出力波形を  $500 \Omega$  の無誘導負荷抵抗を接続してオシロスコープで観測した。図のような  $500 \text{ kHz}$  の正弦波のバースト波が観測された。バーストの持続時間は  $10 \mu\text{s}$ 、休止時間は  $40 \mu\text{s}$  で、正弦波の振幅は  $2000 \text{ V}_{\text{pp}}$  であった。この凝固出力の出力電力はいくらか。番号を解答欄  にマークせよ。[6]



- 1) 2000 W
- 2) 1000 W
- 3) 500 W
- 4) 200 W
- 5) 100 W

【正解】 ㉔ 4)

【解説】 電力は、「電圧の 2 乗/抵抗( $E^2/R$ )」で計算できる。この波形のように、断続する場合の平均電力は、「出力電力×出力時間/全時間」で計算する。

出力時の電力は、「実効値の 2 乗/負荷抵抗」であるから、 $10 \mu\text{s}$  の間の正弦波の部分の実効値は  $2000/(2\sqrt{2})$  である(後で 2 乗の計算をするのですので、ここで  $\sqrt{\quad}$  の計算をする必要はない)。よって、この正弦波の電力は、

$$(2000/(2\sqrt{2}))^2/500 = (1000 \cdot 1000/2)/500 = 1000 \text{ W}$$

となる。

一方、出力時間 =  $10 \mu\text{s}$ 、休止時間 =  $40 \mu\text{s}$  であるから、全体の平均電力は、上の  $1000 \text{ W}$  を  $10/(10+40) = 1/5$  にすればよいので、 $1000 \text{ W}/5 = 200 \text{ W}$  となる。

【選択問題1】 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1)にマークせよ。[6]

- 1) 通話装置は電源の異なる2系統以上を設ける。
- 2) 装置内のスイッチは防爆型のものを使用する。
- 3) 第1種装置の最高治療圧は2.8絶対気圧である。
- 4) 第1種装置内ではバッテリー駆動のシリンジポンプが使用できる。
- 5) 第2種装置の酸素吸入時の加圧上限は3絶対気圧である。

【正解】 (選1) 4)

【解説】 高気圧酸素治療装置の構造や性能、材質などの安全性については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「高気圧安全治療の安全基準」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。通話装置の電源システムの異常が発生する可能性もあるため、異なる電源系統(2系統以上)からも電源が供給される構造にしなければならない。
- 2) 治療中に純酸素を投与することや、高気圧下では空気中の酸素濃度では不変であるが酸素分圧は圧力によって上昇することから、酸素の支燃性が大気圧下より高くなる。このためスイッチを入れた瞬間に起こる火花による発火(火災)事故を防止するために、装置内に取り付けるスイッチは、無接点式、無火花式または火花に着火能力がない防爆型のスイッチを使用する。
- 3) 第1種装置の最高使用圧力はゲージ圧で0.54 MPaを超えてはならない。また、常用の最高治療圧の2.8絶対気圧と規定されている。
- ×4) 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。
- 5) 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2種装置の治療圧は2絶対気圧以上3絶対気圧以下としている。



【選択問題 2】 パルスオキシメータとカプノメータで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. 突然呼吸が停止した場合、カプノメータの波形は直ちに消失する。
- b. 純酸素吸入中に患者が正常換気から低換気に変化した場合、動脈血酸素飽和度は直ちに低下する。
- c. 酸素吸入中に患者が正常換気から低換気に変化した場合、終末呼気二酸化炭素分圧は徐々に増加する。
- d. パルスオキシメータは末梢循環不全では測定が困難となる。
- e. 終末呼気二酸化炭素分圧は循環の影響を受けない。

- 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2) 7)

【解説】

- a. 記述の通り
- × b. 動脈血酸素飽和度は無侵襲連続に酸素化の状態をモニタリングできる優れた指標であり、患者が大気吸入中に呼吸停止や低換気に陥った場合に動脈血酸素飽和度は直ちに低下する。しかし、酸素吸入中は血液中に十分な酸素が取り込まれているため呼吸停止になっても動脈血酸素飽和度は直には下がらない。パルスオキシメータは酸素化のモニタではあるが、必ずしも呼吸停止や低呼吸のモニタにはならないことを認識しておく必要がある。
- c. 記述の通り
- d. 記述の通り
- × e. 終末呼気二酸化炭素分圧は換気が適性であることを示す指標であるが、心拍出量のモニタでもある。換気が安定しているも関わらず、突然終末呼気二酸化炭素分圧が低下した場合は肺塞栓等による心拍出量の減少を第一に疑

第17回午後の部

うべきである。最近では、心肺蘇生中の胸骨圧迫の有効性や自己心拍再開の早期指標と使用できると言われている。

【選択問題3】 スパイロメータについて不適切なのはどれか。番号を解答欄

〔選3〕にマークせよ。〔6〕

- 1) 熱線型スパイロメータは白金線の温度変化を計測する。
- 2) 超音波方式では伝播時間の差により流速を計測する。
- 3) 努力性呼出曲線の測定では一気に呼出したかを確認する。
- 4) スパイロメータの出力を積分すると残気量が算出できる。
- 5) ローリングシール型は気量を直接測定できる。

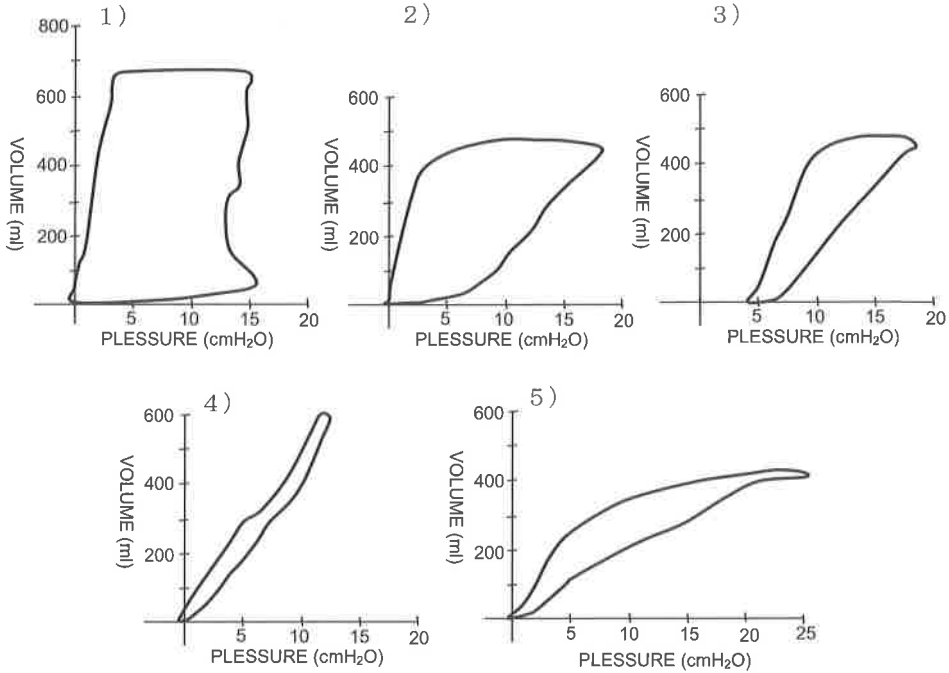
〔正解〕 〔選3〕4)

〔解説〕

- 1) 熱線型スパイロメータは熱した白金線に気流があたることによって熱が奪われる温度変化を計測するのが原理である。
- 2) 超音波方式では、気流を斜めに横切る超音波の伝播時間を計測し、その差により流速を計測する。
- 3) 努力性呼出曲線の測定では一気に呼出したかを確認することも当然である。十分に慣れた被験者が一生懸命に努力して吐き出した際の呼出曲線でなければ検査の意味がない。
- ×4) 残気量は、最大呼気位でもなお肺の中に残る空気量であるから、スパイロメータの出力を積分して算出できるものではない。
- 5) ローリングシール型では、薄いゴム膜で密封したチェンバーに呼気を貯めるので、気量を直接測定できる。

日本での診療レベルは、ほとんどの領域で国際水準のトップクラスに位置しているが、呼吸器疾患のみは先進国水準に比して低い。その一因としてスパイロメータの普及が診療所では10%程度と低いことも要因とされている。臨床現場でよく用いられるピークフローメータについても学習しておくこと。

【選択問題4】 図は人工呼吸器のグラフィックディスプレイに表示された圧-容量曲線である。肺コンプライアンスが最も低いと考えられるのはどれか。番号を解答欄 **選4** にマークせよ。なお、それぞれの圧-容量曲線は異なる患者のもので換気条件は異なっている。[6]



【正解】 **選4** 5)

【解説】 肺コンプライアンスの基準値は  $50 \sim 80 \text{ ml/cmH}_2\text{O}$  とされ、圧-容量曲線の傾きからこれが推定できる。肺コンプライアンスの値が減少すると曲線全体方の傾きが水平に近づき、この値が増加すると傾きは垂直に近づく。

- × 1) 気道抵抗が極端に高い患者に PCV を行った場合の圧-容量曲線。
- × 2) 肺胞虚脱により inflation point が見られる圧-容量曲線。
- × 3) 2) の状態の患者に inflation point 以上の PEEP をかけ、肺胞が動員された状態の圧-容量曲線。
- × 4) 圧トリガにより PSV を行った場合の圧-容量曲線。
- 5) 極端に肺コンプライアンスが低い場合の圧-容量曲線。

【選択問題 5】 JIS T 7201-1「吸入麻酔システム－第 1 部麻酔器(本体)」に規定されている酸素供給圧警報装置について誤っているのはどれか。番号を解答欄 **選 5** にマークせよ。[6]

- a. 警報装置の動力源として電力を使用できる。
- b. 警報装置の動力源としてのガスには酸素を使用できない。
- c. 停電警報装置がある場合、停電時に作動する機能を備えなくても良い。
- d. 可聴警報は少なくとも 7 秒以上発し続けなければならない。
- e. 酸素供給圧が正常値に戻る前に、一時的に可聴警報を停止できる。

- 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 5** 7)

【解説】 この問題の酸素供給圧警報装置については、JIS T 7201-1「吸入麻酔システム－第 1 部麻酔器(本体)」の 17.1 酸素供給圧警報装置に規定されている。参考までにこの項を下記の [備考] に示す。

- a. [備考] に示した JIS の 17.1.1 と 17.1.5 に規定されているように電力を使用できるため、この選択肢は正しい。
- × b. JIS の 17.1.4 に動力源としてガスを用いるときには、警報を発するエネルギーは酸素配管の供給圧から得られるものでなければならないと規定されているため、この選択肢は誤りである。
- c. JIS の 17.1.5 に動力源として、商用電源を使用するときには、停電時でも作動するものでなければならないが、停電警報が備えられているときにはこの限りでないと規定されているため、この選択肢は正しい。
- d. JIS の 17.1.2 に可聴警報は 7 秒以上発し続けなければならないと規定されているため、この選択肢は正しい。
- × e. JIS の 17.1.3 に酸素供給圧が警報開始点まで復帰する以前に、警報を止め

たりまたはリセットできるような構造であってはならないと規定されているため、この選択肢は誤りである。

**【備考】**

JIS T 7201-1 : 1999(2009 確認) 吸入麻酔システム－第1部麻酔器(本体)

17. 酸素供給不良

17.1 酸素供給圧警報装置

17.1.1 麻酔器は、酸素の供給源がポンベ又は配管からであっても、酸素供給不良を知らせる可聴警報装置を備えていなければならない。可聴警報装置の動力源はガス又は電力とする。

17.1.2 可聴警報システムは、JIS Z 8733 に記載された方法により試験されたときに、55 dB(A)の背景白色騒音において2 dB(A)以上の音圧差を付けた音を、少なくとも7秒間以上発し続けなければならない。

17.1.3 酸素供給圧が警報開始点まで復帰する以前に、警報を止めたり又は警報をリセットできるような構造であってはならない。

17.1.4 動力源としてガスを用いるときは、警報を発するエネルギーは、麻酔器に付いているポンベから、又はホース連結部から酸素流量計に至る配管の酸素供給圧から得られるものでなければならない。

17.1.5 警報装置の動力源として商用電源を使用するときは、停電時でも作動するものでなければならない。ただし、停電警報が備えられているときは、この限りではない。また、これらの警報装置を点検するための方法が備えられていなければならない。

17.1.6 可視警報も併せて備えられているときは、赤信号、赤色灯、又はアルファベットと数字(alpha-numeric)の標示方式で表示されるものであり、可聴警報装置とともに作動するものとする。また、赤信号又は赤色灯が使用されるときは、何を示すかのラベル表示を付けることとする。この警報装置は、酸素供給が回復したときには自動的に解除されなければならない。

【選択問題 6】 経皮的血液ガス分圧測定装置について誤っているのはどれか。番号を解答欄 **選6** にマークせよ。[6]

- 1) 酸素分圧の測定にはクラーク型電極を用いる。
- 2) 二酸化炭素分圧の測定にはセベリングハウス型電極を用いる。
- 3) 測定部位を加温する必要がある。
- 4) 間欠的計測である。
- 5) この装置で計測された酸素分圧と動脈血酸素分圧の差は電極装着部位の角質層の厚さに影響される。

[正解] **選6** 4)

【解説】 経皮的血液ガス分圧測定装置は、臨床において得られる計測値の信頼性について問題となる場面がある。非観血的、かつ連続的に血液ガス分圧を測定できる有用な装置であり、その適切な使用を図るためには、本装置の計測原理を理解することが重要である。

- 1) クラーク型電極は陰極に白金線、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。この電流は酸素分圧に比例する。酸素透過膜には厚さ 12  $\mu\text{m}$  のテフロンが用いられている。
- 2) CO<sub>2</sub> 電極は pH 電極の応用型である。血液中の CO<sub>2</sub> はガス拡散により微小な穴の開いた半透膜(テフロンやシリコン)を微量透過し、内部の水と反応後、炭酸となる。炭酸はさらに H<sup>+</sup> と HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> に解離する。H<sup>+</sup> 電極(ガラス電極)にてこの濃度に比例するガラス電極膜の内と外の電位差を測定すれば、血液中の CO<sub>2</sub> 濃度が測定できる。このタイプの電極は開発者にちなんでセベリングハウス(セバリングハウス)電極と呼ばれる。
- 3) 動脈血の経皮的血液ガス分圧測定を行うには、毛細血管を動脈化するために測定する部位において 41 ~ 44 °C の範囲で加温し、毛細血管を拡張させ血液量を増加させると同時に、酸素解離曲線を右方に偏移させることによ

り、動脈血中の酸素分圧を上昇させる必要がある。これにより組織内を皮膚に向かって拡散する過程で生じる酸素分圧低下を補償することができる。

- × 4)  $\text{PaO}_2$  の測定の重要性は高いが、動脈にカテーテルを留置する血液ガスモニタや、動脈穿刺による血液ガス分析は侵襲度が大きく、合併症の危険度が高まる。また未熟児などの場合、酸素運搬に関わる血液の採取はそれだけで重大な侵襲を与えることにもなる。血液ガス分圧は、呼吸や循環状態に対応して比較的敏速反応するため、採血などによる間欠的な計測法ではその状態を正確、迅速に把握する上で問題がある。経皮的血圧ガス分圧測定装置はこれらの問題を克服し、非観血的かつ連続的な測定を可能とするものである。
- 5) 成人では角質層が厚く電極への拡散が妨げられるため、 $\text{tcPO}_2$  と  $\text{PaO}_2$  の較差が大きくなる。アルコール綿でよく拭くようにして角質層を除去する。



【選択問題7】 不整脈のカテーテル治療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) カテーテルナビゲーションシステムは、心筋興奮の位置と電位の同時情報を3次元表示する。
- 2) カテーテルアブレーションは、カテーテルと対極板との間に30～70 kHzの高周波電流を通電して行う。
- 3) 磁場を利用したマッピングシステムでは、先端に磁気センサが内蔵されたカテーテルが用いられる。
- 4) 心房細動の根治治療に、カテーテルアブレーションによる電氣的肺静脈隔離術が行なわれる。
- 5) カテーテルアブレーションは、興奮回路や副伝導路を凝固壊死(遮断)させて治療する。

【正解】 (選7) 2)

【解説】 不整脈のカテーテル治療では、興奮回路や副伝導路などの不要な伝導路を、高周波電流により焼灼し、凝固壊死させる。部位の特定を正確に行う必要があり、最近ではナビゲーションシステムによりこれが行われている。

- 1) 記述の通り。カテーテルナビゲーションシステムでは、①カテーテル電極の位置の特定(精度は1 mm以下)、②カテーテル電極による心内電位記録、③電氣的興奮・伝播の様子のカラ表示、④心筋の興奮が伝播する様子をアニメーションで表示などができる。
- ×2) 通電される高周波電流の周波数はおよそ300～1,000 Hzである。
- 3) 記述の通り。
- 4) 記述の通り。心房細動発生の原因となる心房期外収縮は90%以上が肺静脈内心筋由来である。電氣的肺静脈隔離術は、肺静脈内心筋と左房筋との伝導を、肺静脈開口部への焼灼によりブロックすることにより、異常興奮起源を肺静脈内に封じ込め、心房細動の根治効果を発揮する方法である。
- 5) 記述の通り。

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

- a. カテーテル先端は左鎖骨下動脈分岐直下に位置させる。
- b. 増加できる心拍出量は50%程度である。
- c. 大動脈解離が疑われる場合、IABPの適用は禁忌である。
- d. ヘリウムラインチューブ内面の曇りはバルーンエンタラップメントを疑う。
- e. ペーシングスパイクによるミストリガ防止にはバンドパスフィルタが有効である。

- 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8) 7)

【解説】 IABPは下行大動脈に留置されたバルーンがヘリウムガスにより、心臓の拡張期に膨らむことにより拡張期大動脈圧を上昇させ冠動脈血流の増加を図り虚血に陥った心筋への酸素供給が増加させる(diastolic augmentation)。また、心臓の収縮期直前にバルーンをしぼませることにより後負荷を下げ、自己の収縮期圧が低下し、心筋酸素消費量が減少させる(systolic unloading)。

- a. 一般的には総大腿動脈からカテーテルを挿入し、バルーンカテーテル先端を左鎖骨下動脈分岐直下に位置させる。バルーンが大動脈の分岐部を閉塞すると分枝領域の血行障害が生じるので注意が必要である。
- × b. 増加できる心拍出量は高々15%程度である。(流量補助の効果は0.8ℓ/分程度)
- c. 記述の通り、大動脈解離が疑われる場合は禁忌である。その他の適用禁忌として、重症大動脈閉鎖不全、胸部大動脈瘤、胸・腹部大動脈の高度蛇行や屈曲、腸骨動脈から総大腿動脈における重度の閉塞性動脈硬化症、重度の凝固異常などがある。

- d. バルーンエンタラップメント(抜去が不可能な状態)の原因には複数あるが、そのひとつにバルーンのピンホールによるバルーン内凝血塊形成がある。バルーン内でヘリウムガスと接触した血液はすぐに凝固し凝血塊となる。この場合、バルーンが血管から抜けなくなり、外科的手術により取り出さなければならない。通常はヘリウムラインが曇ることはなく、曇りが見られた場合、ピンホールによるバルーン内凝血塊形成が疑われる。
- × e. ペーシングスパイクによるミストリガ防止にはLPF(ローパスフィルタ)が有効である。フィルターによりミストリガが防げない場合は、動脈圧波形をトリガに用いる。

【選択問題 9】 心電図モニタリング用電極を利用した呼吸波形の測定は、左右の側胸部に装着した電極間に周波数が [A] で、電流が [B] の定電流を流し、呼吸運動を電圧変化として検出することにより行われる。[A], [B] の組合せで正しいのはどれか。番号を解答欄(選9)にマークせよ。[6]

- | [A]        | [B]         |
|------------|-------------|
| 1) 1 kHz   | 10 mA       |
| 2) 60 kHz  | 80 $\mu$ A  |
| 3) 400 kHz | 1 mA        |
| 4) 1 MHz   | 1 mA        |
| 5) 5 MHz   | 100 $\mu$ A |

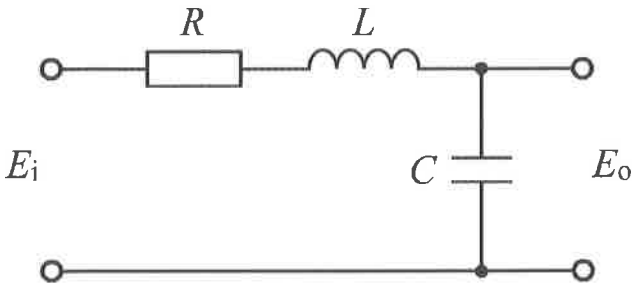
【正解】 (選9) 2)

【解説】 心電図モニタは心電図単独ではなく、血圧、呼吸数、体温、SpO<sub>2</sub>などの生体情報をいくつか組み合わせた生体情報モニタとして患者の病態把握に供されることが多い。

心電図電極を利用した呼吸波形の観察にはインピーダンス法が用いられる。測定原理は、左右の側胸部に装着された心電図電極間に高周波の定電流を流し、呼吸運動による胸郭インピーダンスの変動を電圧変化として検出する。心電図に混入する高周波信号(雑音)はフィルタ処理回路で分離する。高周波電流なので感電の危険はない。

現有機器では、周波数が 40 ~ 90 kHz、電流が 40 ~ 100 $\mu$ A の微弱な高周波電流が用いられている。

【選択問題10】 観血式血圧測定におけるカテーテルやトランスデューサで構成される血圧測定ラインを電氣的に模擬すると、 $LCR$ で構成される共振回路になる。このときの共振周波数 $f$ は $f=1/2\pi\sqrt{LC}$ で求められるが、ダンピング定数 $D$ は以下のどの式によって求められるか。番号を解答欄「選10」にマークせよ。  
[6]



- 1)  $D = (R/2) \cdot \sqrt{C/L}$
- 2)  $D = (R/2) \cdot \sqrt{L/C}$
- 3)  $D = (C/2) \cdot \sqrt{R/L}$
- 4)  $D = (C/2) \cdot \sqrt{L/R}$
- 5)  $D = (L/2) \cdot \sqrt{R/L}$

【正解】 (選10) 1)

【解説】 観血式血圧測定におけるカテーテルやトランスデューサで構成される血圧測定ラインの物理的な特性を電氣的に模擬すると、図にあるような $LCR$ で構成される共振回路になる。このときの共振周波数 $f$ は $f=1/2\pi\sqrt{LC}$ で求められ、ダンピング定数 $D$ は $D=(R/2) \cdot \sqrt{C/L}$ で求められる。血圧測定ラインが閉塞気味で抵抗 $R$ が大きくなったり、気泡が混入してコンプライアンス $C$ が大きくなると、血圧波形がなまる(オーバーダンピング波形になる)ことを経験するが、この場合はダンピング定数 $D$ の値が大きくなる。そのことを考慮すると解答が得られる。

【選択問題11】 人工心肺装置のサクシオンポンプには遠心ポンプを使用できない。この理由はどれか。番号を解答欄(選11)にマークせよ。[6]

- 1) キャビテーションが発生する。
- 2) 血液損傷が大きい。
- 3) 感染の可能性が高い。
- 4) 吐出量が回転数に依存しない。
- 5) 自吸能がない。

【正解】 (選11) 5)

【解説】 自吸能とはポンプ内が空の状態から液体を送り出すことができる能力をいう。

遠心ポンプは流体に遠心力を利用して

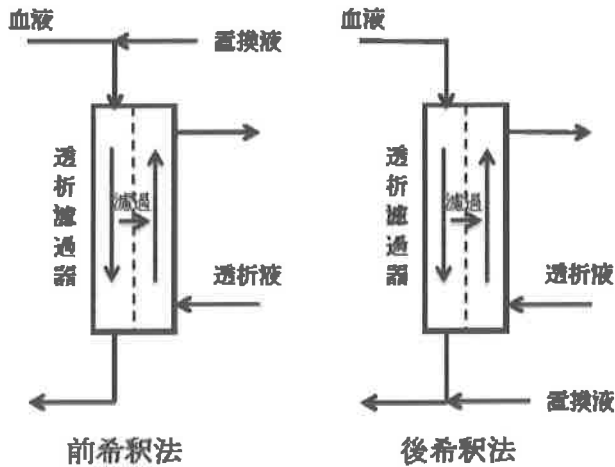
$$P = \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2 \text{ [Pa]}$$

の圧力を与えて送液する。空気と、水や血液などの液体では密度  $\rho$  が約 1000 倍異なるので、遠心ポンプではローラーポンプのように空気を送ることが出来ない。したがって自吸能がないので、サクシオンポンプのように空気も同時に吸引する用途には使用できない。

【選択問題 12】 血液透析濾過法には図のように前希釈法と後希釈法がある。正しいのはどれか、番号を解答欄(選 12)にマークせよ。[6]

- a. 前希釈法で置換液流量を上げると、尿素の除去速度は増大する。
- b. 前希釈法で置換液流量を上げると、 $\beta_2$ -ミクログロブリンの除去速度は増大する。
- c. 同じ置換液流量におけるアルブミンの漏出量は、後希釈法の方が少ない。
- d. 蛋白結合毒素の除去速度は、前希釈法の方が増大する可能性がある。
- e. 同じ置換液流量では、置換液組成の血液成分への影響は前希釈法の方が大きい。

- 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



血液透析濾過における希釈方式

[正解] (選12) 6)

[解説]

- × a) 分子拡散支配的な尿素では、前希釈法 HDF における濾液流量(置換液流量)増大による除去速度増大よりも、濃度差減少に伴う拡散除去速度低下の方が上回り、結果として除去速度は減少する。
- b) 濾過による除去が効果的な  $\beta_2$ -ミクログロブリンでは、前希釈法 HDF における濾過による除去速度増大効果が拡散による除去速度低下よりも上回り、除去速度は増大する。
- × c) 同じ置換液流量では濃い濾液が得られる後希釈法の方が溶質透過量は多い。従ってアルブミン漏出量も後希釈法の方が多い。
- d) 希釈により解離が生じる蛋白結合毒素では、希釈効果の高い前希釈法において除去速度が増大する可能性がある。
- × e) 同じ置換液流量では、血液回路に直接流入する後希釈法の方が透析液組成の影響を受けやすい。



【選択問題 13】 腹膜透析液の組成とその値との組合せで誤っているのはどれか。  
番号を解答欄(選13)にマークせよ。[6]

- a.  $\text{Na}^+$  ————— 160 mEq/l
- b.  $\text{Ca}^{2+}$  ————— 4.0 mEq/l
- c.  $\text{K}^+$  ————— 3.5 mEq/l
- d. 乳酸 ————— 40 mEq/l
- e. グルコース — 0 mg/dl

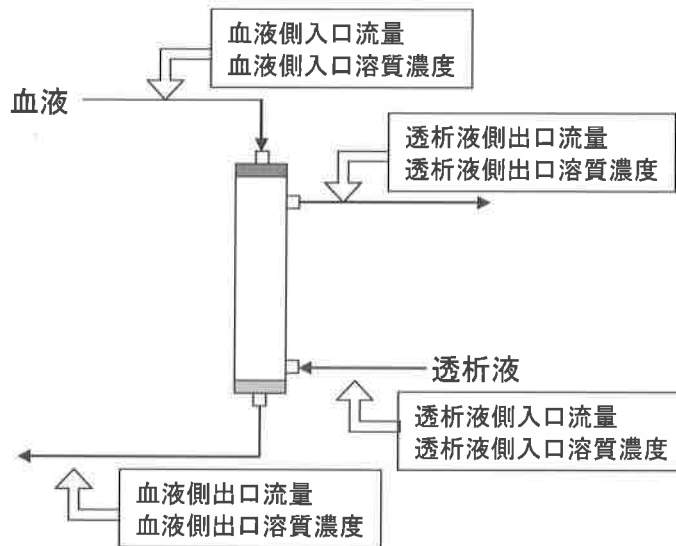
- 1) a, b    2) a, c    3) a, d    4) a, e    5) b, c
- 6) b, d    7) b, e    8) c, d    9) c, e    10) d, e

【正解】 (選13) 2)

【解説】 ポイントはカリウム濃度とグルコースフリーの透析液の存在である。

- × a.  $\text{Na}^+$  濃度は 132 mEq/l 程度であり，明らかに間違いである。
- b.  $\text{Ca}^{2+}$  は 2 ~ 4 mEq/l なので，正しい。
- × c. 腹膜透析液には  $\text{K}^+$  は含まれていなく，高 K 血症が予防できる。
- d. 乳酸は 35 ~ 40 mEq/l 含まれているので，正しい。
- e. グルコースを浸透圧剤として使用している腹膜透析液もあるが，Baxter のエクストラニールではイコデキストリンが浸透圧剤として使用されており，グルコース濃度は 0 である。

【選択問題 14】 濾過があるときの尿素のクリアランスを求めたい。血液側入口溶質濃度と透析液側入口流量がわかっているとき、あと2つ同時にどのデータがあればクリアランスを求めることができるか。番号を解答欄(選14)にマークせよ。[6]



- a. 血液側入口流量
- b. 血液側出口流量
- c. 血液側出口溶質濃度
- d. 透析液側出口溶質濃度
- e. 濾過流量

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

[正解] (選14) 10)

[解説] 濾過があるときのダイアライザのクリアランスは、

$$CL = \frac{Q_{BI}C_{BI} - Q_{BO}C_{BO}}{C_{BI}} = \frac{C_{BI} - C_{BO}}{C_{BI}} Q_{BO} + Q_F$$

であり、クリアランスを求めるためには、ダイアライザ入口・出口における血流量および血液側入口および出口溶質濃度の値が必要である。もしくは、血液側入口流量の代わりに、血液側出口流量および濾過流量(もしくは血液側入口濃度と濾過流量)でもよい。また、

$$CL = \frac{C_{DO} - C_{DI}}{C_{BI}}$$

でもあることから、血液側入口溶質濃度、ダイアライザ出口における透析液流量および透析液側溶質濃度からも求めることができる。したがって、血液側入口溶質濃度と透析液側入口流量がわかっている場合、あと、濾過流量と透析液側溶質濃度がわかれば、この式からクリアランスを求めることができる。

【選択問題 15】 血液透析中の小分子量物質の時間  $t$  [min] における血中濃度  $C_B(t)$  [mg/ml] は、体液量  $V$  [ml], クリアランス  $K$  [ml/min] が透析中一定であるとすると,

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

と表される。体液量が 36,000 ml の患者に、尿素のクリアランスが 180 ml/min の透析器で血液透析を施行したときに、尿素の濃度が透析開始時の半分になるまでの時間にもっとも近いのはどれか。番号を解答欄(選15)にマークせよ。ただし  $\ln(2)$  は、0.69 とせよ。[6]

- 1) 15 分
- 2) 100 分
- 3) 140 分
- 4) 200 分
- 5) 290 分

【正解】 (選15) 3)

【解説】 透析中の溶質濃度を与える式を変形すると,

$$t = \frac{V}{K} \ln\left(\frac{C_B(t)}{C_B(0)}\right)$$

となる。したがって、濃度が透析開始時の半分になるために必要な時間は,

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

となるので,

$$t_{1/2} = -\frac{36000}{180} (-0.69) \cong 138 \text{ min}$$

【選択問題 16】 正しいのはどれか。番号を解答欄(選16)にマークせよ。[6]

- a. バイオフィルム中の細菌は次亜塩素酸ナトリウムで死滅する。
- b. 酢酸でバイオフィルムが除去できる。
- c. 生菌数とエンドトキシン濃度は相関しない。
- d. エンドトキシンはグラム陽性菌から検出されない。
- e. 0.2 $\mu$ m のフィルタでエンドトキシンを阻止できる。

- 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16) 8)

【解説】 透析液配管中のエンドトキシン・細菌対策は重要であり、エンドトキシンと菌種、バイオフィルムについて正しい理解が不可欠である。

- × a. バイオフィルムは細菌の死骸、細菌から出てくるスライム、透析液中の炭酸カルシウムなどが固まってできあがったものであり、かなり強固である。初期の段階では次亜塩素酸で除去できるが、通常は堅いフィルム状となるため次亜塩素酸では破壊することができない。当然、バイオフィルム内で繁殖している細菌を死滅させることもできず、バイオフィルムは菌の温床となる。
- × b. 酢酸は炭酸カルシウムや炭酸マグネシウムを溶解除去できるが、バイオフィルムとして形成されたものは除去できない。
- c. エンドトキシンはグラム陰性菌外膜に存在しているため、グラム陽性菌やグラム不定菌が存在している通常の状態では生菌数とエンドトキシン濃度とは相関しない。グラム陰性菌のみの場合でも、死菌からエンドトキシンが遊離されるため、生菌数とは良好な相関が得られない。
- d. グラム陽性菌からはエンドトキシンは検出されない。
- × e. エンドトキシン単体の分子量は 2,000 程度からある。通常はミセルあるいは

はベジクルといった塊を形成するが、その分子量も数万から数百万程度である。0.2 $\mu\text{m}$ の孔径を有する細菌除去フィルタでは、エンドトキシンを阻止することができない。

【選択問題 17】 透析液水質基準と血液浄化器性能評価基準 2008 の超純粋透析液のエンドトキシン活性値として正しいのはどれか，番号を解答欄(選17)にマークせよ。[6]

- 1) 0.001 EU/ml 未満
- 2) 0.005 EU/ml 未満
- 3) 0.010 EU/ml 未満
- 4) 0.050 EU/ml 未満
- 5) 0.1 EU/ml 未満

【正解】 (選17) 1)

【解説】

- 1) 超純粋透析液の適応はオンライン補充液を作製する透析液，逆濾過透析液を積極的に用いる透析装置(全自動透析装置など)やプッシュアンドプル HDF 透析装置，内部濾過促進型透析となっているが，基本的にはすべての血液透析療法に超純水透析液が推奨される。  
内部濾過促進型透析器の基準は透析医学会誌 2005，新たな透析液水質基準と血液浄化器の機能分類に従う。推定内部濾過量  $\geq 35$  ml/min
- 2) 透析液水質基準(資料：透析液水質基準と血液浄化器性能評価基準 2008)  
生物学的汚染基準の到達点
  - ・透析用水
    - 細菌数 100 CFU/ml 未満
    - ET 0.050 EU/ml 未満
  - ・標準透析液(standard dialysis fluid)
    - 細菌数 100 CFU/ml 未満
    - ET 0.050 EU/ml 未満
  - ・超純粋透析液(ultra-pure dialysis fluid)
    - 細菌数 0.1 CFU/ml 未満
    - ET 0.001 EU/ml 未満(測定感度未満)

【選択問題 18】 医用赤外線装置に用いた温度検出器について誤っているのはどれか。番号を解答欄 **選 18** にマークせよ。〔6〕

- a. 波長  $10\mu\text{m}$  付近に感度をもつ検出器を用いている。
- b. 鼓膜体温計では熱検知型の検出器を用いている。
- c. 検出時定数は光量子型より熱検知型で小さい。
- d. 光量子型は常温で安定動作する。
- e. CdHgTe 検出器は光量子型である。

- 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 18** 8)

【解説】 生体より放射される赤外線は波長  $10\mu\text{m}$  付近の遠赤外線であり、この赤外線のエネルギー量(W)から生体温度(T)を計算することができる。波長  $10\mu\text{m}$  における赤外線の生体における放射率は同じ温度における完全黒体からの放射率 1.0 に近い 0.98 ~ 0.99 であることから、ほぼ黒体より放射されるエネルギー W はステファン・ボルツマンの式( $W=\sigma T^4$ )が近似的に適用される。従って生体より放射される遠赤外線エネルギーを検出することで T を測定することが可能である( $\sigma$  = ステファン・ボルツマン定数)。赤外線エネルギーの検出には InSb や HgCdTe などの光量子型とサーミスタやサーモパイルなどの熱検知型とがある。

- a. 赤外線(光)は  $0.72 \sim 1000\mu\text{m}$  の波長をもっており、可視光とマイクロ波の波長帯域には含まれた領域の電磁波である。生体より放射される遠赤外線はこの範囲の  $10\mu\text{m}$  付近を中心とした放射線である。
- b. 鼓膜体温計に通常冷却不要なセンサーであるサーモパイルなどの熱検知型が用いられている。
- × c. 皮膚表面温度の分布を高速で走査し画像化するためには検知応答の指標で



ある熱検知のための時定数が短いことが必要である。従来から熱検知型よりの検知時定数の短い光量子型が使われていた。しかし最近では走査の時間が短縮でき、若干個々の検出素子の時定数が長いが多く熱検出型素子を並べた2次元センサーを使用した装置が使われるようになってきている。

- × d. 光量子型は感度がよく検出時定数が短い、低雑音で安定動作させるために液体 N<sub>2</sub> を用いるか、あるいは電子冷却による冷却が必要である。
- e. 光量子型検出素子として CdHgTe や InSb などがある。ちなみに熱検知型は数 ms ~ 1 s であるのに対して CdHgTe のような光量子型では 3 μs 以下と短い。

【選択問題19】 聴覚脳幹誘発電位について誤っているのはどれか。番号を解答欄(選19)にマークせよ。[6]

- a. 刺激から10 ms以内に発生する電位である。
- b. 電位の大きさは0.1～0.5  $\mu$ V程度である。
- c. 500 Hz以下の周波数成分をもつ電位である。
- d. 刺激にはクリック音が用いられる。
- e. 電位波形は覚醒や睡眠によって変化する。

- 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19) 9)

【解説】 聴覚誘発電位の計測は持続時間で0.1～0.2 msの矩形波パルス音(クリック音)をヘッドホンから聞かせて行う。クリック音によって鼓膜を振動させ内耳の蝸牛にある有毛細胞を興奮させる。その細胞興奮による活動電位は蝸牛神経を介して蝸牛神経核→上オリブ核→外側毛帯→下丘→内側膝状体などの脳幹のそれぞれの神経核を経て大脳の聴覚野に伝わる。聴覚脳幹誘発電位は頭皮上(頭頂部)と耳との間で検出したこれら脳幹の各中継核で発生した誘発電位である。通常の聴覚や視覚刺激による大脳誘発電位は大脳皮質に誘発される電位であるため、その電位は数 $\mu$ V～10 $\mu$ Vで、その潜時も100 ms前後であるが、それより短い潜時の深い脳幹からの電位は0.1～0.5 $\mu$ Vと極めて低電位である。通常8～10 ms以内に脳幹のこれらの聴覚神経核の興奮に由来する電位が6～7個検出される。聴覚脳幹誘発電位は現在脳幹の機能の有無を検査する有用な測定パラメータの一つで、脳死の判定などにも使用される。

- a. 健常者では通常8 ms以内に聴神経をはじめ脳幹の各神経核で発生するI～VIまたはVII波の電位であるが、伝導が遅れる患者では時に9 m程度になる。

- b. 頭皮上に波及する深い脳幹の電位は極めて小さく、通常脳波電位(約 20 ~ 30  $\mu\text{V}$ )の中に埋もれているため、刺激に同期して 1000 ~ 2000 回の加算平均を行って検出する。
- × c. 8 ms 以内に出現する 6 ~ 7 個の電位であるため、その周波数成分は 3 kHz 程度をもつ電位である。
- d. クリック音としてパルス幅 0.1 ~ 0.2 ms 程度の矩形波が用いられる。検査は通常 10 ~ 20 回 /s の割合で刺激回数として 1000 ~ 2000 回与えられる。
- × e. 脳幹の電位であるから、通常の大脳皮質の誘発電位と異なり、覚醒や睡眠などのような意識レベルの影響を受けない。そのため体動の多い新生児や小児などでは眠らせて検査をすることができる。

【選択問題 20】 麻酔科領域で用いる BIS(bispectral index) モニタ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) 麻酔薬の過剰投与の抑制ができる。
- 2) 術中覚醒を防止できる。
- 3) BIS 値が高いほど覚醒に近い。
- 4) 麻酔中の催眠レベルのモニタリングが可能である。
- 5) ICU では使用できない。

【正解】 **選 20** 5)

【解説】

- 1. 記述の通り
- 2. 記述の通り
- 3. 記述の通り
- 4. 記述の通り
- × 5. BIS(Bispectral Index) モニターは前額部に専用電極を装着し、意識レベルに関係する脳皮質活動の一部を、脳波の周波数、振幅と干渉を基に算出して BIS 値として 0-100 までの数値で示される。当初は全身麻酔における麻酔深度モニタとして使用されたが、ICU において人工呼吸器管理された患者等の適切な鎮静管理のモニタとしても使用されている。適度な鎮静レベルの BIS 値は 40-60 とされ、60 以上で意識の回復がみられる。麻酔薬・鎮静薬以外にも筋運動、低体温、電気メス、温風加温器などにより影響を受けることや、使用する麻酔薬の種類により鎮静度との解離がみられることが知られている。

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

- a. 経頭蓋電気刺激より患者に与える苦痛は大きい。
- b. 中枢運動神経伝導時間(CMCT)の測定に使用する。
- c. 高頻度刺激とは10 Hz以上の頻回刺激をいう。
- d. 大脳の運動野の刺激には8の字型コイルが有用である。
- e. 高頻度刺激の実施には施設内の倫理委員会の承認が必要である。

- 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21) 2)

【解説】 頭皮上から大脳の運動野や種々の脳皮質を電気刺激することによって脳神経細胞の興奮や抑制を誘発させて、種々の脳機能や疾患の有無を検査する方法が注目されている。しかし頭皮上から電気抵抗の高い頭皮や頭蓋骨を介して脳を直接電気刺激することは非常に高圧な電気刺激が必要であり、また疼痛も大きい。そこで頭皮上にかざしたコイルによる磁気刺激を使うとその磁束は頭皮や頭蓋骨の高い電気抵抗の影響を受けずに脳まで到達することが可能であり、その結果痛みもなく脳を電気刺激することができる。磁気刺激による脳の電気刺激はコイルに短いパルス電流を流すと電磁誘導によってその変動磁場がコイル面と平行に、かつコイル内の電流と逆方向に小さな渦電流が脳組織で生ずる。この渦電流が神経細胞を脱分極させ細胞の興奮あるいは抑制を促す。

経頭蓋磁気刺激(TMS: transcranial magnetic stimulation)法は円形コイルや8の字コイルなどを用いて頭皮上から大脳をはじめ中枢神経系を磁気刺激(結果として電気刺激)する方法である。

× a. パルス電流のスイッチを入れた瞬間に弱いスイッチ音が出る以外直接皮膚を電気刺激するような痛みや苦痛はほとんどない。

- b. 大脳的一次運動野を磁気刺激するとその興奮は遠心性に伝わり脊髄を介して末梢神経である  $\alpha$  運動神経を伝導する。その結果手足の筋肉に誘発筋電位が発生する。次に脊髄(前角細胞)を磁気刺激すると同じように手足の筋肉から誘発筋電位が発生する。この両刺激による誘発筋電位の潜時差が大脳の運動野から脊髄までの中枢神経伝導路の伝導時間(中枢運動神経伝導時間)となる。
- × c. 同一部位を一定の頻度で連続的に刺激する場合、刺激頻度が 1 Hz 以下を低頻度、1 Hz を超えるものを高頻度磁気刺激と呼ぶ。現在単発、2 連発、および低頻度の繰り返し磁気刺激は安全とされているが、高頻度刺激ではけいれん発作を誘発することがあるので、刺激頻度、強度、回数、刺激間隔などの刺激パラメータの組み合わせに関する安全ガイドラインが設けられている。
- d. 刺激コイルの形状を 8 の字にすると誘導電流密度がコイルの 8 の字の交点直下で最大となり、刺激焦点が絞れるため大脳皮質の一部を狙った刺激が可能となる。
- e. 高頻度刺激の実施にあたっては前述のようなてんかん発作などを誘発する危険があるため、施設内の倫理委員会の承認が必要である。

【選択問題 22】 PET 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) 検査に使用する放射性医薬品はサイクロトロンで生成する。
- 2) X 線 CT と組み合わせた装置を PET-CT という。
- 3) 使用する放射性医薬品の半減期は 2 ~ 110 分である。
- 4)  $^{18}\text{F}$ FDG を使ったがん検診は脂肪の代謝を可視化している。
- 5) 体内から放出される消滅ガンマ線を検出する。

【正解】 (選 22) 4)

【解説】

- 1) 検査に使用する放射性医薬品は半減期が短いため、院内のサイクロトロンで生成することが多い。
- 2) X 線 CT と組み合わせた装置を PET-CT という。PET で生体や組織の機能情報、CT では解剖学的な形態情報が得られ、両者を重ね合わせたものをフュージョン(fusion)画像という。重ね合わせることにより集積部位がわかりやすい。天気図の雲画像が PET で、地図が CT 画像と考えるとわかりやすい。
- 3) 使用する放射性医薬品の半減期は 2 ~ 110 分で短い。
- × 4)  $^{18}\text{F}$ FDG はブドウ糖の代謝を利用している。PET では、体内の細胞がブドウ糖として  $^{18}\text{F}$ FDG を取り込む。がん細胞は通常の細胞より多くのブドウ糖を取り込むことから高集積画像として写る。 $^{18}\text{F}$ FDG はがん検診にも用いられる。
- 5) ポジトロン核種から放出された陽電子は陰電子と衝突し、180 度反対方向に 2 本の消滅  $\gamma$  線を放出する。この体内から放出される消滅  $\gamma$  線(エネルギー 511keV)を体外に設置した検出器で検出し画像化する。

【選択問題 23】 内視鏡治療で誤っているのはどれか。番号を解答欄(選23)にマークせよ。[6]

- 1) リンパ節転移のない固有筋層に到達していない胃癌は内視鏡で治療できる。
- 2) 粘膜を剥離する治療をESD(内視鏡的粘膜下層剥離術)とよんでいる。
- 3) 先端を絶縁した高周波メスがESD(内視鏡的粘膜下層剥離術)で用いられる。
- 4) EMR(内視鏡的粘膜切除術)はスネアに高周波電流を流して切除する。
- 5) EVL(内視鏡的静脈瘤結紮術)は対極板の装着が必要である。

【正解】 (選23) 5)

【解説】 消化管の軟性内視鏡治療は、本格的にはハーショヴィッツらの光ファイバーを利用したファイバースコープの開発に始まる。医師の目でリアルタイムに直接胃の内部を観察することができるようになったので治療も可能となった。(それまでの胃カメラは文字通り小型カメラが先端に装着されフィルム現像後に観察する。：ファイバースコープの接眼レンズに取り付けられたカメラとは異なる。)

1980年代後半からCCDを取り付けた電子内視鏡(ビデオスコープ)が登場し、ポリープのような隆起病変にはスネアと呼ばれるループ状ワイヤに高周波電流を流すことで(ポリペクトミー)切除可能になった。一方で腹腔鏡外科治療(硬性鏡による胆嚢摘出術など)1985年にMuheによって始まった。

胃癌の手術治療は、癌の進展度によって治療法選択が変わってくる。一般に早期癌と進行癌は、発見の早さによって分けられるものではなく、粘膜の進達度によって分類されている。その中で早期癌とは固有筋層に到達していない物を指し、中でもリンパ節転移のない早期癌は内視鏡によって、EMR(内視鏡的粘膜切除術：Endoscopic mucosal resection)とESD(内視鏡的粘膜下層剥離術：Endoscopic submucosal dissection)によって治療されることが多い。

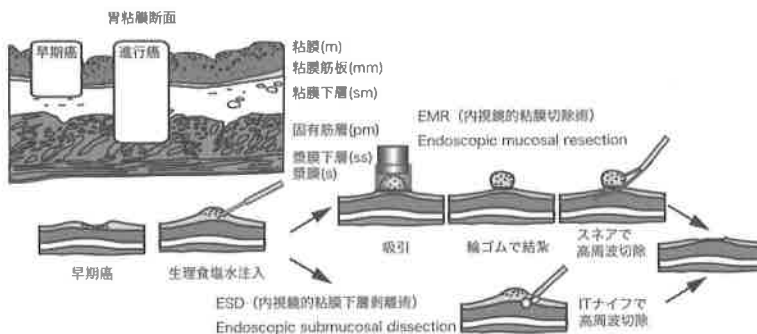
早期胃癌や胃腺腫などは生理食塩水を粘膜に注入し、フードを装着した内視鏡



によって吸引をかけた後に、フード先端の輪ゴムを外し、胃癌を含む粘膜をポリープ状にする。それをポリペクトミーと同様に切除する EMR に加えて、先端に絶縁体の装着された IT-Knife(Insulated Tip knife)などを用いた ESD が開発されたことで、大きな病変にも一括切除が可能となった。日本胃癌学会「胃癌治療ガイドライン」ではリンパ節転移の可能性がほとんどなく、腫瘍が一括切除できる大きさと部位にある早期癌(固有筋層に到達していない)ことが適応とされる。

小腸で吸収された栄養は門脈から肝臓に血液とともに流れ、中心静脈を経て肝静脈、大静脈へと流れる。しかし、C 型肝炎などで肝硬変になると門脈の肝臓への血流は流れ難くなり、側副血行路なるバイパスのような血管が発達し、肝臓を通過せず大循環へと入る。そして門脈系静脈圧が上昇し、支持組織の弱い食道静脈や直腸の静脈が食道静脈瘤や内痔核が側副血行路として発達し大量出血を引き起こす。肝硬変では肝臓での止血蛋白合成も低下し、出血傾向にあるので致死的な出血となる。そこで以前は外科的にいったん食道を離断し、食道粘膜の静脈を切断後に食道をつなぐ極めて侵襲の高い手術(食道離断術)を行った。

しかし蛋白を凝固させる薬剤を内視鏡的に食道粘膜に注射し組織を凝固壊死させ、食道静脈瘤を閉塞させる EIS(内視鏡的静脈瘤硬化療法) の出現により、低侵襲治療が可能となり、肝硬変の出血死を著しく減少させた。さらに内視鏡で吸引後、輪ゴムで結紮する EVL(内視鏡的静脈瘤結紮術) は組織の壊死や癒着もないので低侵襲さが高まり普及している。この術式が EMR へとつながった。結紮が目的なので高周波電流は用いない。



【選択問題 24】 消化管内視鏡で誤っているのはどれか。番号を解答欄(選24)にマークせよ。[6]

- 1) NBI(Narrow Band Imaging)は特殊光で照明し血管を強調した表示法である。
- 2) 食道癌の検査にはルゴール染色が用いられる。
- 3) FICE(Fuji Intelligent Color Enhancement)は計算で特定波長の画像を観察する。
- 4) ダブルバルーン内視鏡では全消化管を観察できない。
- 5) カプセル型内視鏡は小腸病変の検査に用いられる。

【正解】 (選24) 4)

【解説】 NBI(Narrow Band Imaging)はオリンパスが開発した内視鏡技術で、白色光ではなく、血中ヘモグロビンに吸収されやすい狭帯域の2波長の光を照射し、粘膜表層の毛細血管や粘膜微細構造の観察を分かりやすく表示することを目的とする。そのために血液で吸収され、粘膜表層で反射や散乱される光を次のように選択する。粘膜表面の毛細血管観察には青色(390～445nm)、そして深部血管観察のためには緑色(530～550nm)を使って観察する。この技術で食道癌の診断や大腸ピットパターン(腺管構造)観察に行われている色素散布の代わりに用いられる。特にこれまで食道癌の診断には、正常の食道粘膜扁平上皮は多量のグリコーゲンを持っており、ヨードによってグリコーゲンが(デンプンのヨウ素反応)茶褐色に染色される。一方で癌細胞は染色されず白く抜けて見えるため、内視鏡で診断の難しい早期食道癌症例にルゴール染色(ヨード染色)が用いられた。しかし現在では、内視鏡検査を止めることなくルゴール染色と同様に癌細胞を際立たせる画像を得ることができる。

一方で、2005年に富士フイルムグループのフジノン東芝ESシステム(現在は富士フイルム：富士フイルムメディカル)が開発したFICE(Fuji Intelligent Color

Enhancement or Fuji Intelligent Chromo Endoscopy : 2008 年より社名を入れるのは学術的に問題があるという理由で、FICE(Flexible Spectral Imaging Color Enhancement と呼ばれている。)は、白色光を照射し、RGB のカラー信号を得てカラー画像を再構成し出力するビデオ内視鏡の特徴をうまく利用し、仮想分光法で任意波長による画像を計算によって算出する FICE により、NBI とほぼ同等の診断を可能にしている。

小腸は検査が困難な臓器であったが、内視鏡による十二指腸検査とバリウムによる小腸造影で限られた領域や、細かい変化は不鮮明な情報で、X 線や MRI によって腸閉塞などは分かるが、潰瘍や出血性病変(クローン病)などの粘膜病変は検出は困難であった。イスラエルのギブンイメージが 1990 年に開発し、国内でも 2007 年に承認されているカプセル内視鏡によって、腸の蠕動運動で移動しながら撮影するため狙い通りの画像は得られないまでも、観察は可能となった。しかし、これは異常が見つかってもし詳しい検査や治療はできないスクリーニング検査に適したものである。

一方、山本らによってフジノンで開発され、2003 年に発売されたダブルバルーン内視鏡は、2つのバルーンを互いに拡張・収縮させながら腸をたぐり寄せ、通常の内視鏡のように自由に動かすことができるため、小さな病変や詳細な検査をすることができる。さらにバイオプシーや止血、ポリープの切除、閉塞部分の拡張などの治療も可能である。大腸ファイバーの挿入のように腸をたぐり寄せる機能が2つのバルーンで強化されているので上部と下部消化管どちらにも対応できる。経口と経肛門から挿入すれば消化管全体を観察が可能である。

【選択問題 25】 超伝導 MRI 装置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 ]

- 1) 検査室には電波シールドあるいは磁気シールドのどちらかを設置する。
- 2) 装置のすべての電源を切っても、静磁場は 1 年間程度持続する。
- 3) 静磁場中心付近に磁性体を入れて手を離すと、磁性体は真下に移動する。
- 4) トンネル型装置で脳全体の撮影中には寝台天板を一定速度で移動させる。
- 5) 静磁場コイルに常時電力を供給している。

【正解】 選 25 3)

【解説】 主に設備管理・安全管理の観点から超伝導 MRI 装置に関する基礎的知識を問う。

× 1) 電波シールドは必須であり、通常は磁気シールドも設置する。

放送電波や、設備機器・医療機器などが発する電磁波は、MRI 画像上にノイズとなって現れることが多い。電波シールドは、検査室外から来るこれらの電磁波を遮断して画像に影響を与えないようにするための設備で、検査室全体の床・天井・壁面をくまなく導体(薄い銅板など)で遮蔽する。(なお、患者と寝台だけを覆う小型の電波シールドを用いる MRI 装置もある。)

一方、磁気シールドは、磁場が検査室の外にあまり漏れないようにするための設備である。検査室の周囲に鉄板や鉄骨を組んで、磁力線がなるべくその中を通るように磁気回路を構成したもので、MRI 装置が発生している磁場が検査室外に及ぼす影響(ペースメーカーの動作障害など)を抑制する効果を持つ。例外的に、検査室の周囲(上下の階も含む)に十分広い管理区域が確保してある場合に限り、磁気シールドを設置しないこともある。

× 2) しばらくは静磁場が持続するが、長期間はもたない。

静磁場コイルを超伝導状態にしておくためには、極低温に保つ必要がある

ので、コイルをクライオスタット(デュワー瓶)に納め、冷凍機で常時冷却している。もし MRI 装置のすべての電源を切ると、冷凍機も止まり、静磁場コイルを直接冷却する方式の装置では数十分程度で、また、液体ヘリウムを冷媒として用いる装置でもせいぜい数週間のうちに、コイルの温度が上昇して超伝導状態ではなくなる(クエンチ)。すると、コイルを流れていた電流のエネルギー(1.5 T の装置の場合、約 1 MJ)がすべてジュール熱に変わり、静磁場が消える。

なお、液体ヘリウムを使う MRI 装置でクエンチが起これると、クライオスタット中の液体ヘリウムがジュール熱で急激に蒸発し、ダクトを通して屋外へ放出される。しかし、ダクトからヘリウムが漏れると検査室内の酸素濃度が低下するおそれもあるので、室外に退避すべきである。

液体ヘリウムを冷媒に使う MRI 装置には、クライオスタット内の熱を排出してヘリウムの蒸発量を少なく抑えるタイプと、蒸発したヘリウムガスを冷却して再度液化するタイプとがある。前者では年に数回液体ヘリウムを補充する必要があるが、後者では 1～2 年ごとの定期点検まで液体ヘリウムの補充が不要(“zero boil off”)のものが多い。

○ 3) 磁場の強度(単位面積あたりの磁束密度)が均一でない場合、鉄製品などの磁性体は、磁場が弱い場所から強い場所へ向かって引っ張られる。MRI 装置の近くでは磁場の強度が場所によって著しく違うので、磁性体は強く引っ張られる。しかし、静磁場中心付近は磁場の強度が極めて均一(相対誤差が ppm のオーダー)なので、磁性体を入れても磁場に引っ張られることはなく、手を離せば単に重力で真下に落ちる。

× 4) 脳全体を撮影する際に寝台天板を動かすことはない。

静磁場中心付近にある被写体は、パルスシーケンスの選び方によって、任意の断面を撮影したり、ボリウム全体の 3 次元的撮影を一度におこなったりできるので、寝台天板を動かさずに撮影する。腹部など撮影範囲に入りきらない長尺物の被写体は、撮影しては寝台天板の位置を変えろという動作を繰り返して、何度かに分けて部分ごとに撮影する。なお、たとえば

下半身全体の血流を見るために、一定速度で寝台天板を動かしながら撮影できる装置もある。

- × 5) 静磁場コイルに電力を供給し続けることはない。超伝導 MRI 装置の静磁場コイルは超伝導状態であり、電気抵抗が完全に 0 なので、一度流した電流はそのまま流れ続ける(永久電流)。

なお、MRI 装置の据え付けや点検の際には、コイルの一部分の超伝導状態を人為的に破り、その部分から電力を供給して励磁したり、その部分を外部の抵抗器につなぎ電力を熱として捨てて減磁することがある。

## 小論文試験問題

ある病院で ME 機器の誤使用によって重大なトラブルが起こったという報道があった。あなたの職場内でも同様の ME 機器を使用(販売)していた場合に、あなたは医療の安全を確保するためにどのような行動をとるか。あなたの考えを 800 字以上 1000 字以内で述べなさい。ただし、空白欄は文字数にカウントされないので注意すること。必要があれば特定の機種を 1 機種設定して具体例をあげて述べても良い。[30]

