

令和 3 年度

第 1 種放射線取扱主任者試験

問題と解答例

生物学

解答例は公益社団法人日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会が解答の一案として作成したものです。

令和 3 年度 放射線取扱主任者試験

正誤票

試験日 試験区分	令和3年8月19日 2時限目（13：30～15：20） <u>第1種</u> 第2種
課目	生物学
誤記内容	ページ：13 問題番号：31 II 変異3についての記述の4行目 ・誤 1,811番から <u>1,940</u>番まで ・正 1,811番から <u>1,840</u>番まで

※問題と解答例では正誤の対応済みです。

次の問1から問30について、5つの選択肢のうち適切な答えを1つだけ選び、また、問31、問32の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

問1 次の標識化合物とそれを利用して標識される生体高分子として、正しいものの組合せはどれか。

- | | | | |
|---|---|---|-------|
| A | [³ H]ロイシン | — | タンパク質 |
| B | [α - ³² P]デオキシシチジン三リン酸 | — | DNA |
| C | [³⁵ S]メチオニン | — | タンパク質 |
| D | [¹²⁵ I]5-ヨード-2'-デオキシウリジン | — | DNA |

- 1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕5

〔解説〕

- A：正 タンパク質の代謝速度の測定。放射性同位体を含むアミノ酸を合成反応液や細胞培養液に添加して翻訳させることにより、放射性同位体で標識されたタンパク質を合成できる。
- B：正 デオキシリボースとリン酸および塩基からなるデオキシヌクレオチドには3個のリンがあり、デオキシリボースに近いリンから順に α 位、 β 位、 γ 位のリン酸と呼ばれる。このうち α 位のリン酸が³²Pで標識されたものはDNAに取り込まれた後もリン酸ジエステル結合として残り、DNAを標識することになる。
- C：正 翻訳開始コドンは通常、メチオニンを指定しているので、タンパク質の合成では必ず最初にメチオニンがタンパク質の材料として取り込まれ、³⁵Sがタンパク質に標識される。
- D：正 [¹²⁵I] 5 ヨード 2'デオキシウリジンはチミジン類似体としてDNAに取り込まれやすい。

問2 核医学診療で行われる検査・治療のうち、^{99m}Tcによる標識が利用されるものとして、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A FDG(フルオロデオキシグルコース)を用いた腫瘍診断検査
- B 抗CD20抗体を用いた悪性リンパ腫治療
- C MDP(メチレンジホスホネート)を用いたがんの骨転移検査
- D ECD(エチルシステイン酸ダイマー)を用いた脳血流検査
- E メチオニンを用いたアミノ酸代謝検査

- 1 AとD 2 AとE 3 BとC 4 BとE 5 CとD

〔解答〕5

〔解説〕

- A：誤 ^{18}F がポジトロン放出核種として標識に用いられ、PET 診断に使用される。
- B：誤 ^{90}Y を抗体にキレート標識し、静脈内投与すると CD20 陽性がん細胞に集積し、 ^{90}Y からの β 線でがん細胞を殺傷する。
- E：誤 メチオニンはタンパク質を構成するアミノ酸の一つで、細胞分裂が活発な腫瘍細胞に取り込まれる性質がある。この性質を利用する検査が ^{11}C -メチオニン PET 検査である。 ^{11}C 標識メチオニンは、正常組織への集積が少ないため、脳腫瘍等の PET 診断に有用とされる。

問 3 ヒトの急性 γ 線全身被ばく後に生じる腸管死に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 15 Gy の被ばくの場合、主な死因となる。
- B 被ばく後 1 日程度で生じる。
- C 腸上皮細胞の新生途絶による脱水と感染が原因となる。
- D 適切な治療介入によって回避可能である。
- E 線量が高いほど腸管死までの期間は短くなる。

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

〔解答〕 2

〔解説〕

- A：正 10—30 Gy の被ばく線量域では小腸の症状が主となる。小腸クリプト細胞の分裂停止や細胞死によって吸収上皮細胞の供給が絶たれ、その結果として粘膜剥離がおこり、脱水症状、電解質平衡の失調、腸内細菌への感染により死に至る。
- B：誤 被ばく後 10～20 日で死亡する。
- C：正 脱水は腸死の直接の原因の一つである。体液バランスの失調は死亡原因となる。
- D：誤 現代の医学水準でも 8-10 Gy 以上の全身被ばく患者の治療は困難である。
- E：誤 受けた線量によらず被ばく後死亡に至るまでの期間がほぼ一定である（吸収上皮細胞の消失により腸管機能不全がおきるまでの期間に対応）。腸死の起こる線量域では、線量が上がっても死亡するまでの期間はほぼ一定である。これはクリプト細胞からの細胞供給が絶たれても、絨毛が縮むことで一定期間、腸の表面を吸収上皮細胞が覆い続けることができるためである。

問 4 次の細胞のうち、10 Gy の急性 γ 線全身被ばく 1 週間後の細胞生存率が最も高いものはどれか。

- 1 リンパ球
- 2 小腸クリプト細胞

- 3 皮膚基底細胞
- 4 心筋細胞
- 5 血管内皮細胞

〔解答〕 4

〔解説〕 心筋は筋肉であり感受性は低い。血管内皮、クリプト、皮膚基底細胞はいずれも細胞再生系に属し、リンパ球は感受性の高いものの代表格である。

問 5 γ 線急性全身被ばく後の初期症状に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 0.5 Gy 被ばく後 1～2 時間では吐き気などの自覚症状は無い。
 - B 3 Gy 被ばく後 1～2 時間で 50%以上に重度の頭痛がみられる。
 - C 3 Gy 被ばく後 1～2 時間で 50%以上に嘔吐がみられる。
 - D 5 Gy 被ばく後 1～2 時間で 50%以上に発熱がみられる。
- 1 ACD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 BD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕 1

〔解説〕

- A：正 嘔吐は、放射線急性被ばくの線量推定で重要な症状である。1 Gy 以上の全身被ばくで 2 時間後以降に現れはじめ、3 Gy では 50%以上の発現率となる。発現までの時間は線量が大きくなると短縮し、3 Gy であれば被ばく 2 時間後までにおこる。
- B：誤 頭痛は 1 Gy 以上の被ばくにみられるが、発生率は線量とともに上昇し 9 Gy 程度でほぼ 100%に達する。潜伏期も線量が低いときは 24 時間以内であるが、線量が高くなると 2 時間以内に発現する。3 Gy では 2 時間以内に重度の頭痛が見られるのは稀である。
- C：正 3 Gy では 50%以上の嘔吐発現率となる。発現までの時間は線量が大きくなると短縮し、3 Gy であれば多くが被ばく 2 時間以内におこる。
- D：正 6 Gy の被ばくでほぼ 100%に発熱がみられるようになる。発熱は 2 Gy 以上の被ばくで見られ、5 Gy では 3 時間以内にみられる。

問 6 放射線被ばく後の組織反応に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。ただし、分割感度とは等効果放射線線量の分割当たりの線量に対する依存性のことをいう。

- A α/β 比は、早期の組織反応よりも晩発性の組織反応の方が大きい傾向にある。
 - B 組織反応の分割感度は、早期の組織反応よりも晩発性の組織反応で高い傾向にある。
 - C 亜致死損傷からの回復は、早期の組織反応よりも晩発性の組織反応で小さい。
 - D 組織反応の分割感度は、低 LET 放射線よりも高 LET 放射線で低い。
 - E 脊髄は晩発反応組織である。
- 1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACE のみ 4 BDE のみ 5 CDE のみ

〔解答〕 4

〔解説〕

- A：誤 早期反応は α/β 比が大きく、10 Gy 前後。晩発反応は α/β 比が小さく、2-3 Gy 程度。
- B：正 早期反応は分割照射による影響が比較的小さい。晩発反応は分割照射による影響が比較的大きくなる。
- C：誤 α/β が大きいほど直線に近づくため、亜致死損傷からの回復の程度が小さくなる。早期組織反応は α/β 大、晩期組織反応は α/β 小であり、早期組織反応のほうが亜致死損傷からの回復の程度が小さくなる。
- D：正 高 LET 放射線の場合は、亜致死損傷からの回復はほとんど認められない。
- E：正 脊髄は放射線低感受性であり、非細胞再生系（細胞静止系）に分類される。分裂を停止し障害を受けても再生しない組織である。

問 7 次の臓器のうち、原爆被爆者の疫学調査結果から、がんによる死亡の線量当たりの過剰相対リスクが最も高いと考えられている臓器はどれか。

- 1 脾臓すいぞう
- 2 女性乳房
- 3 肺
- 4 前立腺
- 5 胃

〔解答〕 2

〔解説〕 相対リスクとは、自然発生数の何倍に増えるかという考え方で、過剰が付く場合は自然発生数を除いて考える。(例：3 倍になる場合は相対リスクは 3、過剰相対リスクは 2 と表現される)。

胃はリスク増加が認められているが、日本人では胃がんの自然発症も多いので、過剰絶対リスクが大きい一方で、過剰相対リスクは小さくなる。女性乳房はリスク増加が認められており過剰相対リスクが大きい。

問 8 ヒトの γ 線急性全身被ばくによる次の障害のうち、症状の出現までの時間が最も長いものはどれか。

- 1 顆粒球減少
- 2 女性の不妊
- 3 急性消化管潰瘍
- 4 皮膚の湿性落屑せつ

5 白内障

〔解答〕 5

〔解説〕

- 1 顆粒球減少 1週間以内
- 2 女性の不妊 1週間以内
- 3 急性消化管潰瘍 14-21日
- 4 皮膚の湿式落屑 4週
- 5 白内障 数年 である。

問9 次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 確率的影響では被ばく線量の増加とともに重篤度が増す。
- 2 急性障害には確率的影響は無い。
- 3 胎児期被ばくによる奇形の発生は遺伝性(的)影響である。
- 4 晩発障害はすべて確率的影響である。
- 5 しきい線量を超える被ばくでは必ず確定的影響(組織反応)が起こる。

〔解答〕 2

〔解説〕

- 1: 誤 確率的影響で線量の増加に伴い増加するのは、影響の発生頻度である。
- 2: 正 確率的影響であるがんと遺伝性影響は、どちらも晩発影響に分類される。
- 3: 誤 奇形は身体的影響である。
- 4: 誤 晩発影響で確定的影響の例として、白内障がある。
- 5: 誤 しきい線量は、影響が表れる最低の線量をいい、通常 1%の人々に影響を生じる線量で表される。よってしきい線量を超えても確定的影響が現れない人も存在する。

問10 γ 線急性被ばくで起こる障害のしきい線量として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 男性の一時的不妊 — 約 0.1 Gy
B 白内障(視力障害) — 約 0.5 Gy
C 造血機能低下 — 約 0.5 Gy
D 急性肺炎 — 約 15 Gy
- 1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕 1

〔解説〕

- A: 正 男性の一時的不妊のしきい線量は、0.1~0.15 Gy。

B：正 白内障のしきい線量は、近年引き下げられ 0.5 Gy。

C：正 造血機能低下のしきい線量は、0.5 Gy。

D：誤 急性肺炎のしきい線量は、6～8 Gy である。

問 11 放射線被ばく後の早期反応に該当するものの組合せは次のうちどれか。

A 腎不全

B 小腸狭窄症

C 造血機能障害

D 甲状腺機能低下

E 口腔乾燥症

1 AとB 2 AとC 3 BとD 4 CとE 5 DとE

〔解答〕 4

〔解説〕

A：誤 腎組織は細胞分裂頻度が低く、被ばく後の早期に反応しない。

B：誤 小腸組織の細胞分裂頻度は中程度であり、被ばく後の早期に反応しない。

C：正 造血組織は細胞分裂頻度が1番高く、被ばく後の早期に反応する。

D：誤 甲状腺は細胞分裂頻度が低く、被ばく後の早期に反応しない。

E：正 口腔乾燥症の原因となる唾液腺は細胞分裂頻度が高く、被ばく後早期に唾液腺損傷を生じ、唾液分泌量の低下と粘性増加に伴い乾燥が起こる。

問 12 宇宙線に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A 銀河宇宙線に含まれる陽子のエネルギーは主に 1 MeV 程度である。

B 大気中の分子との破砕反応により ^3H が生じる。

C 地表での宇宙線由来の線量率の 50%以上がミュー粒子による寄与である。

D 日本上空の旅客機の飛行高度(11 km)での宇宙線による線量率は約 $20 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ である。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 3

〔解説〕

A：誤 銀河宇宙線からの陽子線は、 10^9 eV (1 GeV) ～ 10^{20} eV である。

B：正 大気中の主に窒素原子との核反応 $^{14}\text{N}(\text{n}, ^3\text{H})^{12}\text{C}$ により、トリチウムが生じる。

C：正 一次宇宙線は地球大気の外、宇宙空間から地球に入射するものをさす。宇宙線が地球大気に衝突するとさらに多くの粒子(二次粒子)を大気中で生じ、これを二次宇宙線という。地上に降り注ぐ宇宙線のほとんどは二次宇宙線であり、その多くをミュー粒子が占める。

D：誤 平地に比べて宇宙線の線量は60倍近くになる。約 $2\ \mu\text{Sv/h}$ である。

問13 UNSCEAR2008年報告書での世界人口における医療被ばくの年間集団実効線量に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 放射線治療による患者の被ばくは含まれない。
- B 自然放射線による年間集団実効線量よりも小さい。
- C 核医学診断による年間集団実効線量に比べて、X線診断による年間集団実効線量の方が大きい。
- D X線診断による年間集団実効線量のうちでCTによる寄与は約10%である。

1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕1

〔解説〕

A：正 医療被ばくには診断と治療によるものが存在するが、年間集団実効線量では診断（X線診断、核医学検査）による患者の被ばく線量のみが用いられ、治療による患者の被ばく線量は用いられない。これは、診断行為における一人当たりの被ばく線量には国によってさほどの大差はないが、治療行為では、患者ごとに被ばく線量に大差がみられることや、治療を受ける患者数に大差があることが背景にある。これにより、集団ごと（国ごと）の放射線被ばくとその原因と比較が可能になっている。

B：正 世界平均では、医療被ばくによる年間被ばく線量は $0.6\ \text{mSv}$ であり、自然放射線被ばく線量 $2.4\ \text{mSv}$ よりも小さい。日本では医療被ばくによる被ばく線量（ $3.87\ \text{mSv}$ ）のほうが自然放射線によるもの（ $2.1\ \text{mSv}$ ）より大きい。しかし、世界でもX線CTなどの普及から、医療被ばく線量は徐々に大きくなる傾向にある。

C：正 X線診断による年間集団実効線量は、 $4,000,000\ \text{人}\cdot\text{Sv}$ に対し、核医学診断は $202,000\ \text{人}\cdot\text{Sv}$ であり、X線診断によるもののほうが大きい。

D：誤 CTによるものが約33%を占めもっとも大きい。

問14 標準的な人(体重 $70\ \text{kg}$ で $0.32\ \text{g}$ のRbを含むと仮定する)に含まれる ^{87}Rb の放射能[Bq]として、最も近い値は次のうちどれか。ここで、Rbの原子量を 85.5 、 ^{87}Rb の同位体存在度を 27.8% 、半減期を 4.97×10^{10} 年とする。

- 1 0.3
- 2 3
- 3 30
- 4 300
- 5 3,000

〔解答〕4

〔解説〕 生体内の ^{87}Rb の放射能 A は下式で与えられる。

$$A[\text{Bq}] = \frac{\ln 2}{T[\text{s}]} \times N = \frac{0.693}{4.97 \times 10^{10} \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} \times \left(6.022 \times 10^{23} \times \frac{0.32 \times 0.278}{87} \right) \\ \approx 272.26$$

ここで、 T は半減期、 N は ^{87}Rb の原子数を表す。

問 15 ラジカルに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 基底状態の酸素分子(三重項酸素)はラジカルである。
- B 一重項酸素はラジカルである。
- C 過酸化水素(H_2O_2)はラジカルではない。
- D スーパーオキシドアニオンラジカルは DNA に対して酸化剤として作用する。
- E ヒドロキシルラジカルは DNA に対して還元剤として作用する。

1 ABD のみ 2 ABE のみ 3 ACD のみ 4 BCE のみ 5 CDE のみ

〔解答〕 3

〔解説〕

- A：三重項酸素（空気中の酸素の大部分）は2つの不対電子をもちビラジカルである。
- B、C：一重項酸素と過酸化水素（ H_2O_2 ）は不対電子をもたないためラジカルではない。
- D：スーパーオキシドアニオンラジカルは反応性の高い酸素種（活性酸素種）である。
- E：活性酸素の中で最も酸化力が強く、DNA を含む生体内分子と反応する。

問 16 放射線の間接作用に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A X線による細胞致死効果における寄与は、直接作用よりも大きい。
- B 乾燥した酵素の X 線による不活性化における寄与は、直接作用よりも大きい。
- C 直接作用に比べて、温度の影響を受けやすい。
- D 酵素溶液を照射する場合、溶液中の全酵素分子数に対する不活性化酵素分子数の割合は、酵素分子の濃度の増加とともに増加する。

1 ACD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 BD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕 3

〔解説〕

- A：正 細胞の8割は水分子で構成されており、X線の放射線エネルギーの大部分は水分子に付与され、細胞内に多数のラジカルを生成する。
- B：誤 ラジカル生成は水分子の量に大きく依存するため、乾燥環境では間接作用が低下する。
- C：正 低温・凍結下のラジカルは拡散が制限されるため、間接作用の効果が減少する（温度

効果)。

D：誤 濃度が低いほど、全酵素分子に対する不活性化酵素分子数の割合は高くなる（希釈効果）。

問 17 ヒト培養細胞の放射線致死感受性における酸素効果に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。ただし、 $760 \text{ mmHg} = 1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ である。

- A X線に比べて LET が $100 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ の炭素イオン線で小さい。
- B X線の酸素増感比は 2.5～3 である。
- C X線照射 30 分前に酸素分圧を 3 mmHg から 30 mmHg に上げる場合、30 mmHg から 155 mmHg に上げる場合に比べて、放射線致死感受性の変化が大きい。
- D X線照射 30 分前に酸素分圧を 3 mmHg から 30 mmHg に上げる場合、X線照射 30 分後に酸素分圧を 3 mmHg から 30 mmHg に上げる場合に比べて、放射線致死感受性の変化が大きい。

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕 5

〔解説〕

A：正 $100 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ の炭素イオン線の酸素増感比は X 線の約半分となる。

B：正 30 mmHg 以下では酸素分圧が増加するほど酸素増感比も増える。

C：正 酸素分圧 30 mmHg 以上では酸素増感比がほぼ一定（酸素増感比 ≈ 3.0 ）となる。

D：正 ラジカルは生体分子と反応性が高く、X線照射で生成されたラジカルが 30 分後の細胞内に残留している可能性は低い。そのため X線照射 30 分後の添加した酸素がラジカルと反応することは期待できない。

問 18 ヒト体細胞における放射線による DNA2 本鎖切断の修復に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 相同組換えによる修復は、相同染色体を用いて行われる。
- B 相同組換えによる修復は、 G_1 期においては行われない。
- C 非相同末端結合による修復は、 G_2 期においては行われない。
- D 非相同末端結合による修復は、相同組換えによる修復に比べて誤りを起こしやすい。

1 ACD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 BD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕 4

〔解説〕

A：誤 相同組換えによる修復は、姉妹染色分体（DNA 複製時に生じる同じ配列を持つ染色体）を必要とする。

B：正 相同組換えは姉妹染色分体が存在する S 期から G_2 期に起こる。

C：誤 非相同末端結合による修復は、全細胞周期で働く。

D：正 相同組換えによる修復は、姉妹染色分体を利用して正確な修復を行う。

問19 ヒト体細胞における放射線照射によるDNA損傷に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A γ 線を1 Gy照射した場合に生じるDNA2本鎖切断の数は、1細胞当たり約40個である。

B γ 線を1 Gy照射した場合に生じるDNA1本鎖切断の数は、DNA2本鎖切断よりも多い。

C γ 線を1 Gy照射した場合に生じるDNA1本鎖切断の数は、照射1時間前にジメチルスルホキシドを添加することで増加する。

D 炭素イオン線($100 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)を1 Gy照射した場合、 γ 線を1 Gy照射した場合に比べ、24時間後に残存するDNA2本鎖切断の数が多。

1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕2

〔解説〕

A、B：正 γ 線を1 Gy照射した場合に生じるDNA1本鎖切断の数は1000～3000個、DNA2本鎖切断の数は約40個である。

C：誤 ジメチルスルホキシドはラジカルスカベンジャーとして作用し、DNA損傷が減少する。

D：正 炭素イオン線($100 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)は γ 線と比べて、難治性である複雑なDNA損傷を生成しやすい。

問20 アポトーシスに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

A 染色体DNAの断片化が観察される。

B クロマチンの凝縮が観察される。

C 放射線によってのみ誘発される。

D p53遺伝子の機能が失われた細胞では、p53遺伝子の機能が正常な細胞に比べ、放射線誘発アポトーシスは起こりにくくなる。

1 ABDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕1

〔解説〕

A、B：正 アポトーシスを起こした細胞はDNA断片化や核クロマチンの凝集の他、ミトコンドリア膜電位消失や細胞膜構造の変化など様々な形態変化を示す。

C：誤 アポトーシスは放射線だけではなく、ウイルス感染やサイトカインによる刺激などによっても誘導される。

D：正 p53 はアポトーシスの誘導因子である。

問 21 男性由来のヒト細胞では、X 染色体上にある *HPRT* 遺伝子に変異が生じると、薬剤 6-チオグアニン(6-TG)の存在下でも増殖可能となる。ある男性由来ヒト培養細胞で、放射線が *HPRT* 遺伝子に変異を誘発した頻度を求めるために次のような実験を行った。まず対照群として、非照射の細胞 100 個を 6-TG を含まない培養用シャーレにまいて培養したところ、1 つの増殖可能な細胞に由来する細胞集団(コロニー)が 80 個得られ、 10^7 個を 6-TG を含むシャーレで培養したところ、コロニーが 8 個得られた。一方、この細胞に γ 線を 1 Gy 照射して、6-TG を含まないシャーレに 100 個、6-TG を含むシャーレに 10^7 個まいて培養したところ、それぞれ 60 個、90 個のコロニーが得られた。このとき、1 Gy の γ 線が誘発した変異の頻度として、最も近い値は次のうちどれか。

- 1 1.0×10^{-6}
- 2 8.2×10^{-6}
- 3 9.0×10^{-5}
- 4 1.4×10^{-5}
- 5 1.5×10^{-5}

〔解答〕 4

〔解説〕 播種した細胞数に対するコロニー数をコロニー形成率という。*HPRT* 遺伝子の変異の頻度は、6-TG を含まないシャーレのコロニー形成率に対する 6-TG を含むシャーレのコロニー形成率で表される。そして照射群と非照射群の差分が 1 Gy の γ 線により誘発した変異の頻度となる。

$$\frac{90/10^7}{60/100} - \frac{8/10^7}{80/100} = 1.4 \times 10^{-5}$$

問 22 γ 線急性全身被ばくを受けた人の末梢血リンパ球における染色体異常に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。なお、ヒト末梢血リンパ球は G_0 期にある。

- A 被ばく直後に採取された末梢血リンパ球で二動原体染色体を評価すると、その頻度は線量に対し直線-2 次曲線(LQ)モデルに従う。
- B 環状染色体は、被ばく後の時間経過に伴い減少する。
- C 相互転座は、被ばくから数十年経過後における線量推定に用いることができる。
- D ヒト末梢血リンパ球では、染色体型の染色体異常が生じる。

- 1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕 5

〔解説〕

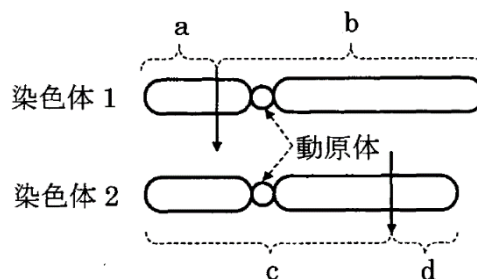
A：正 末梢血リンパ球培養による二動原体分析法は、最も信頼性の高い生物学的線量評価法

の一つである。検量線をあらかじめ作成することにより、二動原体の頻度から線量を推定できる。

B、C：正 安定型に分類される相互転座は細胞分裂が可能であり長期に安定して存在できる。一方で不安定型染色体異常に分類される環状染色体は細胞分裂できずに細胞死となるため、相互転座より減少が早い。

D：正 DNA複製前のG₀期、G₁期に放射線照射されると染色体型、DNA複製後のG₂期に照射されると染色分体型の染色体異常となる。

問 23 下の図の2本の染色体において、実線矢印の位置でDNA2本鎖切断が生じてaからdまでの断片が生じたとする。誤って結合されたときに転座を生じる断片の組合せは、次のうちどれか。



- A a-c
- B a-d
- C b-c
- D b-d

1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 3

〔解説〕 転座は染色体間交換のひとつで動原体を持つ部分と持たない部分が再結合したもの(a-c及び b-d)である。また染色体間交換で2つの動原体を持つ部分が再結合した場合(b-c)は二動原体染色体となる。

問 24 γ 線による胎内被ばくの影響に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

なお、マウスの妊娠期間は21日、受精卵は受精後4.5日で着床するものとする。

- A ヒトにおける重度精神遅滞の発生リスクは、受胎後8週から15週での被ばくの方が16週から25週よりも高い傾向にある。
- B マウスでは受精後4日に0.5 Gy照射した場合、胚死亡(吸収)の増加がみられる。
- C ヒトでは受胎後4週に0.5 Gy被ばくした場合、奇形の増加がみられる。
- D ヒトにおける胎児期の被ばくによる発がんリスクは、幼児期の被ばくによる発がんリス

クより高い。

- 1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕 1

〔解説〕

- A：正 原爆被爆者データより重度精神遅延の発生リスクは受胎後8週から15週で最も感受性が高くなる。(ICRP Publication 60)
- B：正 胚の着床前、着床直後に100 mGy以上の被ばくで致死的影響が誘発される。数十mGyの線量で致死的影響は極めて稀である。(ICRP Publication 103)
- C：正 放射線による奇形の誘発は主要器官形成期(受胎後第3週から第8週頃)に最大となり、100 mGy前後にしきい値があると考えられている。(ICRP Publication 103)
- D：誤 幼児期被ばく者の固形がんの罹患率は、胎児期被ばく者の固形がんの罹患率より高い。(Preston, D.L., et al., J Natl Cancer Inst, 100(6) 428-436 (2008))

問 25 放射線の遺伝性(的)影響に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A ICRP2007年勧告ではヒトの倍加線量として1 Gyを採用している。
- B 倍加線量が大いほど遺伝性(的)影響のリスクが高い。
- C マウスを用いた実験では、低線量率照射での遺伝性(的)影響のリスクは高線量率照射の約2倍である。
- D 原爆被爆者では、遺伝性(的)影響の有意なリスク増大は認められていない。

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとD 5 CとD

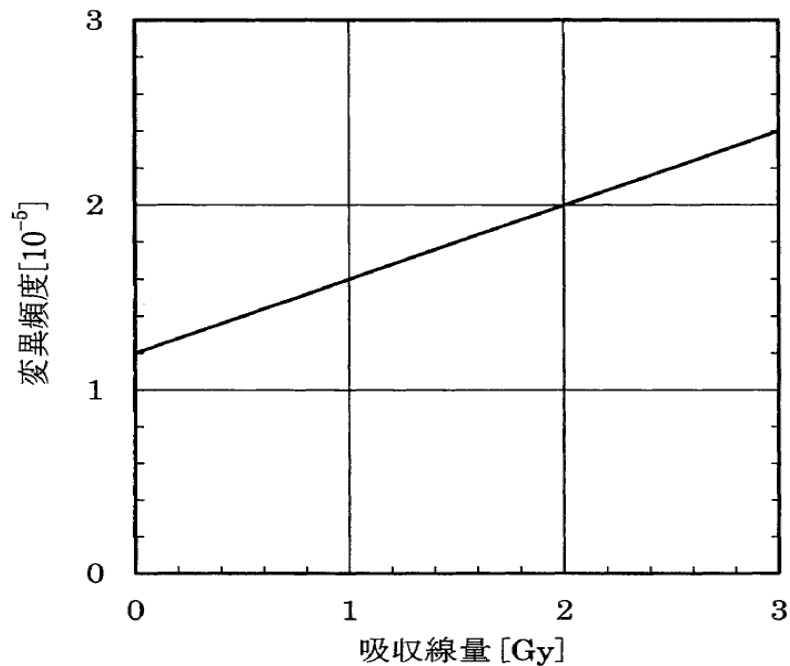
〔解答〕 3

〔解説〕

- B：誤 倍加線量とは自然発生的な突然変異の発生率を2倍に増加させる線量である。倍加線量が大いほど遺伝性(的)影響のリスクは低く見積もられる。
- C：誤 Russellらのメガマウス実験で、低線量率照射(8 mGy/min)で誘発される突然変異は、高線量率照射(900 mGy/min)より少ないことが確認されている。

問 26 ヒトの自然変異頻度は1世代、1遺伝子座位当たりの平均値として 3.0×10^{-6} と推定されている。 γ 線照射したマウスの仔において、1遺伝子座位当たりの平均放射線誘発変異頻度として下のグラフのようなデータが得られたとする。ヒトにおける線量当たりの放射線誘発変異頻度がマウスのこのデータと同じと仮定したとき、推定される倍加線量[Gy]として、

最も近い値は次のうちどれか。



- 1 0.75
- 2 1.0
- 3 1.25
- 4 1.5
- 5 3.0

〔解答〕 1

〔解説〕 倍加線量とは生物の一代の間に自然に起こっている突然変異の割合を2倍にするのに必要な放射線量であり、すなわち自然発生突然変異が起こる割合に加え同じ割合で変異を起こす線量が倍加線量となる。ヒトの自然発生突然変異の頻度が 3.0×10^{-6} ($=0.3 \times 10^{-5}$) であるから変異頻度が 0.3×10^{-5} 上昇させると自然発生突然変異の頻度と合わせて2倍の突然変異頻度となるため、この線量が倍加線量となり、グラフから 0.75 Gy となる。

問 27 細胞核を10個の高エネルギー炭素イオン(線)が通過して、 $100 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ の平均LETで長さ $10 \mu\text{m}$ にわたってエネルギーを付与した場合、この細胞核の吸収線量[Gy]として、最も近い値は次のうちどれか。ここで、細胞核を1辺 $10 \mu\text{m}$ の立方体、その密度を $1.0 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ と仮定する。

- 1 1.6×10^{-4}
- 2 1.6×10^{-3}
- 3 1.6×10^{-2}
- 4 1.6×10^{-1}

5 1.6×10^0

〔解答〕 5

〔解説〕 Gy は単位変換すると J/kg、1 eV は 1.602×10^{-19} J となる。付与されたエネルギーは $10[\text{個}] \times 100 \times 1000 [\text{eV}/\mu\text{m}^{-1}] \times 10 [\mu\text{m}] \times 1.602 \times 10^{-19} [\text{J}] = 1.602 \times 10^{-12} [\text{J}]$ となる。一方で細胞核は一辺が $10 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{cm}$ で密度が $1.0 \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ であるからその重さは $(10^{-3})^3 [\text{cm}^3] \times 1.0 \text{g} \cdot \text{cm}^{-3} = 10^{-9} \text{g}$ となり、単位を kg に変換すると $10^{-12} [\text{kg}]$ となる。よって細胞核の吸収線量は $1.602 \times 10^{-12} [\text{J}] / 10^{-12} [\text{kg}] = 1.602 \times 10^0 [\text{Gy}]$ となる

問 28 陽子(線)、炭素イオン(線)、中性子(線)に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 水中での LET が $100 \text{keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ の炭素イオン(線)は、 $10 \text{keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ の炭素イオン(線)と比べて細胞致死効果の RBE が大きい。
- B 陽子(線)、炭素イオン(線)、中性子(線)はすべて宇宙線に含まれる。
- C 陽子(線)、炭素イオン(線)、中性子(線)はすべてブラッグピークを形成する。
- D 陽子(線)、炭素イオン(線)、中性子(線)はすべてがん治療に利用されている。

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕 2

〔解説〕

- A：正 LET の増大に伴い細胞致死効果の RBE が大きくなる。ただし $100 \text{keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ をピークにそれ以降は減少傾向となる。
- B：正 宇宙線は宇宙に存在する放射線の総称である。
- C：誤 α 線、陽子線、重粒子線はブラッグピークを持つが中性子線はブラッグピークを持たない。
- D：正 陽子は陽子線治療、炭素イオンは重粒子線治療、中性子はホウ素中性子捕捉治療が、がん治療に用いられている。

問 29 α 線(粒子)に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 平均吸収線量が低い場合、細胞に当たる数が、多数の細胞で 0、少数の細胞で複数になることがある。
- B ICRP2007 年勧告における放射線加重係数の勧告値は 20 である。
- C 6.8MeV の α 線(粒子)の生体内での平均の飛程は約 3mm である。
- D ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)の細胞致死効果に寄与する。

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕 2

〔解説〕

- A：正 α 線は飛程が短く、細胞複数個程度である。また吸収線量は α 線の数も反映されるため、平均吸収線量が短い場合には、細胞数の増加に伴い α 線が当たる確率は低くなる。
- B：正 ICRP2007年勧告における α 線の放射線荷重係数は20である。
- C：誤 α 線のエネルギーは通常約4～9 MeVであり、空気中での飛程は3～8 cm、生体内の飛程は30 μ m程度である。
- D：正 BNCTは熱中性子と ^{10}B が核反応を起こし、粒子線が発生し細胞致死効果をもたらす。

問30 放射線治療に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 陽子線は重粒子線よりも同一の吸収線量での細胞致死効果が高い。
- B ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)では、速中性子線を照射する。
- C ^{131}I -MIBG(メタヨードベンジルグアニジン)は悪性褐色細胞腫の核医学治療(内用療法)に用いられる。
- D 前立腺がんに対する小線源治療の際に、 ^{125}I が用いられる。
- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕5

〔解説〕

- A：誤 同一の吸収線量において重粒子線は陽子線の2～3倍の細胞致死効果を有する。
- B：誤 ホウ素中性子捕捉療法では速中性子ではなく熱中性子線を照射する。
- C：正 メタヨードベンジルグアニジンはノルアドレナリンの類似物質であるため、悪性褐色細胞腫の核医学治療に用いられる。
- D：正 ^{125}I は前立腺内に挿入されて前立腺癌に放射線を照射させる小線源療法に用いられる。

問31 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

Ⅰ 放射線の生物作用を理解する上で、遺伝情報を担うDNAの構造を理解することが重要である。

DNAはデオキシリボース、リン酸基、塩基から構成される。一方、RNAはリボース、リン酸基、塩基から構成される。図はRNAを構成するリボースの構造を示したものである。ただし、炭素原子に直接結合している水素原子は省略してある。リボースを構成する炭素原子は図のように1'から5'の番号を付けて区別する。DNAを構成するデオキシリボースでは□Aの炭素原子に結合したヒドロキシ基(-OH)が水素原子に置き換わっている。また、塩基と結合するのは□Bの炭素原子である。□Cと□Dの炭素原子に結合したヒドロキシ基はリン酸基とエステル結合を形成する。DNA複製や転写などにおけるDNA鎖およびRNA鎖の合成(伸長)

は C から D の方向に進行する。

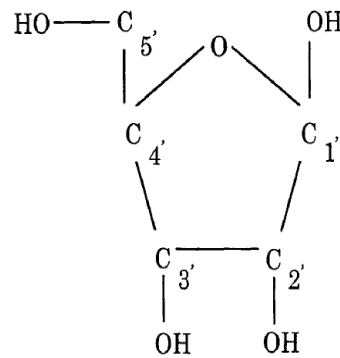


図 RNA を構成するリボースの構造

DNA1 本鎖切断、2 本鎖切断の修復において、DNA 末端は最終的に DNA リガーゼによって結合される。DNA リガーゼによる結合の際には、C 側の末端にはリン酸基が E。また、D 側の末端にはリン酸基が F。末端の形状がこれと異なる場合には、ポリヌクレオチドキナーゼ・ボスファターゼなどによる整形が行われる。

ヒトやマウスには数種類の DNA リガーゼが存在することが知られている。このうち、DNA2 本鎖切断の非相同末端結合による修復に関わる DNA リガーゼ IV の遺伝子に変異を有する遺伝病患者では、G 機能の異常がしばしば認められる。これは、V (D) J 組換えとよばれる H 遺伝子の再編成過程に非相同末端結合に関わるためである。

<A～D の解答群>

1 1' 2 2' 3 3' 4 4' 5 5'

<E、F の解答群>

1 あってはならない 2 なければならない

<G の解答群>

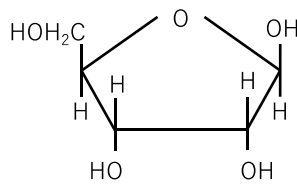
1 肝 2 心 3 腎 4 肺 5 生殖 6 免疫

<H の解答群>

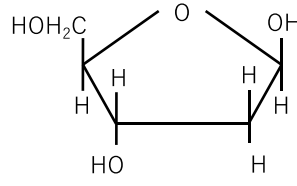
1 イオンチャネル 2 サイトカイン 3 ステロイドホルモン受容体
4 抗体 5 神経伝達物質受容体 6 増殖因子

〔解答〕 I A-2 B-1 C-5 D-3 E-2 F-1 G-6 H-4

〔解説〕



リボース



デオキシリボース

- A: 図の通りリボースにおける2'のヒドロキシ基 (-OH) がデオキシリボースでは水素原子 (-H) に置き換わる。
- B: 塩基が結合するのは1'の炭素原子となる。
- C、D: DNA および RNA の合成は5'末端から3'末端に向かって進行する。
- E、F: DNA リガーゼは3'-OH 末端と5'-リン酸末端をリン酸ジエステル結合で連結する。
- G、H: DNA リガーゼIVはV (D) J 組換において必須であり、抗体はV (D) J 組換によって抗体産生に必要な遺伝子を複数の遺伝子から切り出し、非相同末端結合により抗体のDNA を再合成することにより作成される。よって DNA リガーゼIVの遺伝子に変異がある遺伝病患者では免疫機能に異常が見られることがある。

II 以下において、タンパク質のアミノ酸の数は、タンパク質合成が開始されるコドンに対応するアミノ酸を1個目とし、タンパク質合成が進行する方向に向かって増えるように数えることとする。また、メッセンジャーRNA(mRNA)の塩基の番号は、タンパク質合成が開始されるコドンの1番目の塩基を1番とし、タンパク質合成が進行する方向に向かって増えるように付けることとする。下の表はコドンとアミノ酸の対応を示したもので、遺伝暗号表あるいはコドン表などと呼ばれる。

表 コドン表

1番目の塩基	3番目の塩基	2番目の塩基							
		U		C		A		G	
U	U	UUU	フェニルアラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイン
	C	UUC		UCC		UAC		UGC	
	A	UUA	ロイシン	UCA		UAA	終止コドン	UGA	終止コドン
	G	UUG		UCG		UAG		UGG	トリプトファン
C	U	CUU	ロイシン	CCU	プロリン	CAU	ヒスチジン	CGU	アルギニン
	C	CUC		CCC		CAC		CGC	
	A	CUA		CCA		CAA	グルタミン	CGA	
	G	CUG		CCG		CAG		CGG	
A	U	AUU	イソロイシン	ACU	トレオニン	AAU	アスパラギン	AGU	セリン
	C	AUC		ACC		AAC		AGC	
	A	AUA	メチオニン	ACA		AAA	リシン	AGA	アルギニン
	G	AUG		ACG		AAG		AGG	
G	U	GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アスパラギン酸	GGU	グリシン
	C	GUC		GCC		GAC		GGC	
	A	GUA		GCA		GAA	グルタミン酸	GGA	
	G	GUG		GCG		GAG		GGG	

下にヒト遺伝病患者に見られる DNA リガーゼIV遺伝子の変異の例と変異部位周辺の mRNA の塩基配列を示す。なお、置換された、あるいは欠失した塩基を下線で示す。また、塩基を数えやすいように 10 塩基ごとに空白を挿入してある。

変異 1 mRNA の 833 番の G が A に置換

831 番から 840 番まで ACGUAUGCAA

変異 2 mRNA の 1,271 番から 1,275 番の 5 つの塩基(AAAGA)が欠失

1,261 番から 1,290 番まで GCAAUAGAUA AAAGAGAAAGA GGGAAUUAUG

1,291 番から 1,320 番まで GUAAAACAAC CUCUAUCCAU CUACAAGCCA

1,321 番から 1,350 番まで GACAAAAGAG GUGAAGGGUG GUUAAAAAUU

変異 3 mRNA の 1,762 番から 1,764 番の 3 つの塩基(AAG)が欠失

1,751 番から 1,780 番まで UAAGAGAUGA CAAGGAGUGG CAUGAGUGCA

1,781 番から 1,810 番まで UGACCCUGGA CGACCUAGAA CAACUUAGGG

1,811 番から 1,840 番まで GGAAGGCAUC UGGUAAGCUC GCAUCUAAAC

変異 4 mRNA の 2,440 番の C が U に置換

2,436 番から 2,445 番まで GUUUCGACGC

変異 1 から変異 4 の中で、アミノ酸のうち 1 個が別のアミノ酸に変化するものは ア である。正常なタンパク質では、(I) 個目のアミノ酸は (J) であるが、この変異を持つ mRNA から作られるタンパク質では、(I) 個目のアミノ酸は (K) である。

また、フレームシフトを起こすものは イ である。この変異を持つ mRNA から作られるタンパク質は、(L) 個目までは正常なタンパク質と同じ配列を持つが、そこからアミノ酸配列が大きく異なり、(M) 個のアミノ酸からなるタンパク質が作られる。

<ア、イの解答群>

1 変異 1 2 変異 2 3 変異 3 4 変異 4

<1 の解答群>

1 277 2 278 3 423 4 424 5 587

6 588 7 813 8 814 9 832 10 833

11 1,270 12 1,761 13 2,439 14 2,440

<J、K の解答群>

1 アスパラギン酸 2 アラニン 3 アルギニン 4 イソロイシン

5 グルタミン酸 6 システイン 7 セリン 8 チロシン

9 トレオニン 10 ヒスチジン 11 バリン 12 フェニルアラニン

13 プロリン 14 ロイシン 15 リシン

<Lの解答群>

1 277	2 278	3 423	4 424	5 587
6 588	7 813	8 814	9 832	10 833
11 1,270	12 1,761	13 2,439	14 2,440	

<Mの解答群>

1 295	2 296	3 442	4 443	5 606
6 607	7 832	8 833	9 851	10 852
11 1,290	12 1,780	13 2,440	14 2, 460	

〔解答〕Ⅱ アー1 イー2 Ⅰー2 Jー3 Kー10 Lー3 Mー3

〔解説〕コドンは3塩基1セットとなるので、3番目の塩基は常に3の倍数となり、その次の数がコドンの始まりとなる。コドンの最後の塩基の順番を3で割るとアミノ酸の順番が求められる。

ア、Ⅰ、J、K：831番目から840番目はA CGU AUG CAAと区切られ、対応するアミノ酸はアルギニン-メチオニン-グルタミン酸となる。変異1によりA CAU AUG CAAとなるため対応するアミノ酸はヒスチジン-メチオニン-グルタミン酸となる。よって832番目から834番目のコドン中の塩基に変異が起こることから、 $834 \div 3 = 278$ 個目のアミノ酸であったアルギニンがヒスチジンに変わる。

Ⅰ、L、M：フレームシフト変異とは3の倍数以外の数の塩基が、欠損変異あるいは挿入変異したものである。これは5個の塩基が変異する変異2が該当する。1261番目から1290番目まではGCA AUA GAU AAA AGA GAA GAG GGA AUU AUGと区切られ、対応するアミノ酸はアラニン-イソロイシン-アスパラギン酸-リシン-アルギニン-グルタミン酸-グルタミン酸-グリシン-イソロイシン-アスパラギン酸であるが変異2によりGCA AUA GAU AGA AGA GGG AAU UAU Gとなりアラニン-イソロイシン-アスパラギン酸-アルギニン-アルギニン-グリシン-アスパラギン酸-チロシンとなる。アスパラギン酸まで正常なタンパク質と同じ配列なので $1269 \div 3 = 423$ から423個目のアミノ酸まで正常な配列となる。この列で一番最後に余った塩基であるGを考慮して元の1291番目から1320番目を区切るとGU AAA ACA ACC UCU AUC CAU CUA CAA GCC Aとなる。元の1321番目から1350番目まではGA CAA AAG AGG UGA AGG GUG GUU AAA AAU Uとなる。この中に元の1332番目から1334番目にあるUGAが終始コドンであるので、この手前のアミノ酸が最後となる。最後のアミノ酸の塩基は1331番目であるが5つの塩基が欠失したため1326番目となり、 $1326 \div 3 = 442$ 個のアミノ酸からなるタンパク質が作られる。

問32 次のⅠ、Ⅱの文章の の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つ

だけ選べ。

- I 培養細胞をいろいろな条件で照射して得られる致死効果の変化は、線量-生存率曲線(生存曲線)の変化として示される。生存曲線は、図に示したように放射線の吸収線量 D を線形表示で横軸に、生存率 S を対数表示で縦軸に表すことが多い。ある細胞を常温大気中で線量率 $1 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$ の γ 線で照射したときの生存曲線を a とする。照射条件を大気中から低酸素状態に変えると、生存曲線は **ア** の方向に変化する。この低酸素条件の効果を定量的に表すのに **イ** が用いられ、このグラフの **ア** を酸素欠乏状態での生存曲線とすると、生存曲線 a における生存率 S_a のときの **イ** は **A** と計算される。酸素欠乏状態の細胞(低酸素細胞)はがん組織中にも存在し、低 LET 放射線を用いたがんの放射線治療の効果を **ウ** と考えられている。照射する放射線を中性子や重粒子線に変えると、生存曲線は **エ** の方向に変化する。放射線の線質による生物効果の違いを比較するために **オ** を用いる。このグラフの **エ** を着目する放射線の生存曲線、 a を基準放射線の生存曲線とすると、生存率 S_a のときの **オ** は **B** で計算できる。**オ** は致死効果以外の指標でも計算でき、放射線防護で用いられる **カ** を決めるときの基礎となっている。多くの培養細胞の生存曲線は $\ln S = -\alpha D - \beta D^2$ で近似できる。正常ヒト線維芽細胞に中性子線を照射した場合、 γ 線照射時と比べて α/β の値は **キ**、生存曲線は直線に近くなる。

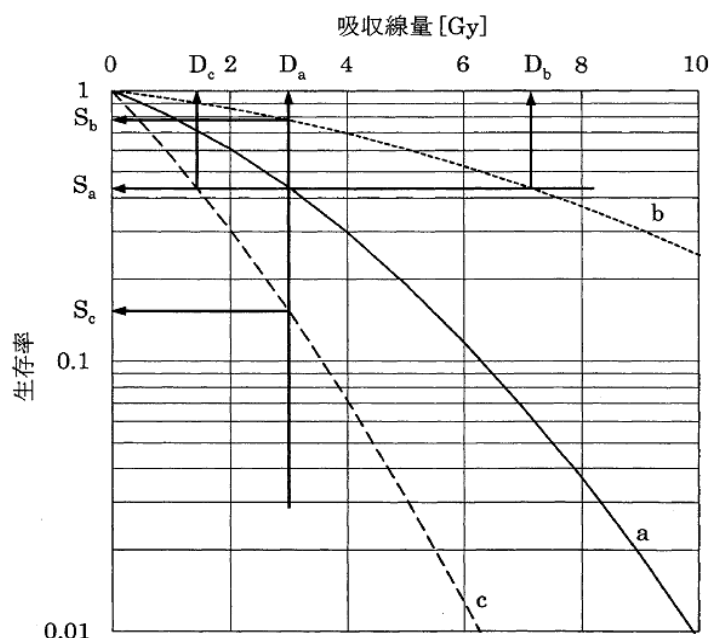


図 細胞の線量-生存率曲線

<ア～カの解答群>

- 1 b 2 c 3 BER 4 NER 5 OER 6 PLDR

7 RBE 8 SLDR 9 線量・線量率効果係数

10 放射線加重係数 11 組織加重係数 12 上げる 13 下げる

<A、Bの解答群>

1 D_a/D_b 2 D_a/D_c 3 D_b/D_a 4 D_c/D_a 5 S_a/S_b

6 S_a/S_c 7 S_b/S_a 8 S_c/S_a

<キの解答群>

1 大きくなり 2 変わらず 3 小さくなり

[解答] I アー1 イー5 ウー13 エー2 オー7 カー10 A-3 B-2 キー1

[解説]

ア、イ、A：酸素存在下での放射線効果は、無酸素下または低酸素下と比較して大きい。逆に無酸素下または低酸素下では放射線効果は小さくなる。つまり放射線効果は酸素分圧が高ければ大きく、酸素分圧が低くなれば小さくなる。酸素効果の大きさ、すなわち低酸素の影響を表すのに、無酸素下または無酸素である効果を生じるのに要する線量と酸素存在下で同じ効果を生じるのに要する線量の比で以下のように表される酸素増感比（OER）が用いられる。

OER=無酸素または低酸素下である効果を得るのに必要な線量 / 酸素存在下で同じ効果を得るのに必要な線量

酸素存在下の生存曲線 a における生存率 S_a の時の吸収線量は D_a であり、一方低酸素下の生存曲線 b における生存率 S_a の時の吸収線量は D_b であるため、前述の式より $OER = D_b/D_a$ となる

ウ、エ、オ、B：低 LET 放射線(X線、 γ 線、 β 線)の OER は 2.5～3 であり酸素による放射線感受性の変動が大きい。一方、高 LET 放射線 (α 線、中性子線、陽子線、重粒子線)は、低 LET 放射線よりも酸素による放射線感受性の変動が小さく、酸素増感比は小さい値を示す。腫瘍組織は低酸素状態を含み、放射線感受性が正常細胞より低下し、放射線抵抗性になる。これは、放射線治療の効果を低下させる要因となる。低酸素細胞に対して低 LET 放射線から、高 LET 放射線に変更すると生存率は低下するため生存曲線 c の方向へ変化する。

放射線の線質の違い、すなわち LET の違いを表す指標として、ある効果を得るのに必要な基準放射線の吸収線量と同じ効果に必要な試験放射線の吸収線量の比で以下のような式で表せられる、生物学的効果比（RBE）を用いる。

RBE=ある効果を得るのに必要な基準放射線の吸収線量 / 同じ効果に必要な試験放射線の吸収線量

生存率 S_a における基準放射線の吸収線量が D_a であり、生存曲線 c においては D_c であるため RBE は D_a/D_c と表される。

カ：放射線荷重係数は、低線量率被ばくした場合の発癌や遺伝的影響について RBE と考える

ことができる。

キ：LQモデルによる生存曲線に関する設問である。LQモデルから生存率(S)は、Dを線量、 α を線量の1次項の係数、 β を線量の2次項の係数とすると、 $S=\exp(-\alpha D - \beta D^2)$ と表せられ、 $\ln S=-\alpha D - \beta D^2$ とすることもできる。なお1次項(α)は高LET放射線など1ヒット事象で細胞死が起こること、2次項は低LET放射線など2ヒット事象で細胞死が起こることに対応づけられている。よって α/β が大きい場合には一次項が相対的に大きくなるため生存曲線は直線に近くなり、 α/β が小さい場合には肩が大きくなる。

II 放射線被ばくによりもたらされる影響のうち があるものを確定的影響(組織反応)と言い、そのうち、比較的高い線量で被ばくした数週間後までに臓器・組織に現れる障害を と言う。代表的な の1つである腸管死の場合、X線や γ 線被ばくでの は Gy 程度である。腸管死は腸管を構成する細胞のうちの主に にある幹細胞の死が原因となって引き起こされる。Iで述べたように細胞死は少線量の被ばくでも起きると考えられるのにもかかわらず、腸管死に が存在するのは、線量が少なく細胞死が少なければ臨床症状が現れないためと考えられる。 は臓器・組織によって異なる。被ばく線量が高いと、障害の重篤度は なる。また、X線や γ 線被ばくでの被ばく線量が同じ場合、線量率が低くなると一般的に障害の重篤度は なる。

<ク～シの解答群>

- 1 晩発障害 2 急性障害 3 組織線量 4 線量限度
5 しきい線量 6 照射線量 7 実効線量 8 絨毛先端^{じゅうまう}
9 クリプト 10 ランゲルハンス島 11 低く 12 等しく
13 高く

<Cの解答群>

- 1 0.1 2 0.5 3 3 4 6 5 9 6 12

〔解答〕 II クー5 ケー2 コー9 サー13 シー11 Cー4

〔解説〕

ク、サ：確定的影響の特徴は、しきい線量が存在し、線量増加で症状の悪化が起こるものと言う。一方、確率的影響にはしきい線量が存在せず、線量増加で発生確率が増加するものと言う。

ケ：被ばく後数週間以内に起こる身体的影響を急性障害、被ばく後数ヶ月～数年経過して以起こる身体的影響を晩発障害という。

C、コ：腸管死は被ばく線量域が5～15 Gyで起こるが、選択肢の中でこの範囲で最も低い値は6 Gyとなる。腸管死は小腸の症状が主であり、これは小腸クリプト細胞の細胞死により吸収上皮細胞の供給が絶たれ、粘膜剥離を起こした結果によるものである。

シ：線量率とは単位時間あたりに物質に吸収または照射される放射線の量を指す。原爆のように短い時間に高い線量を受ける場合（すなわち高線量率の被ばく）に対して、低い線量を長時間にわたって受ける場合（すなわち低線量率の被ばく）のほうが、被ばくした総線量が同じでも影響のリスクは低くなるような傾向が、動物実験や培養細胞の実験研究で明らかになっている。