

令和 5 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。

・正誤票の内容（問 29 問題文 1 行目、問 31 I の＜A～C の解答群＞、問 32 II の 4 行目、III の 6, 8, 10, 12 行目の誤記）は修正済みです。

(令和5年度)第1種生物学

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次のうちどれか。

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

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

〔解答〕3

〔解説〕

- A：正 蛋白質を構成するロイシンの水素原子をトリチウムに置換した放射性アミノ酸である。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、 ^3H で標識されたタンパク質を合成できる。
- B：誤 [^{125}I] 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に取り込まれる。RNAへの取り込みはデオキシリボースのため生じず、標識は困難である。
- C：正 開始コドンで翻訳される放射性アミノ酸であり、メチオニン本来の ^{32}S が β -壊変核種の ^{35}S に置換されている。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、 ^{35}S で標識されたタンパク質を合成できる。
- D：正 [α - ^{32}P] デオキシシチジン三リン酸は、デオキシシチジン三リン酸類似体としてDNAに取り込まれる。 α 位が ^{32}P であり、DNA鎖中にリン酸ジエステル結合として取り込まれるためDNAを ^{32}P で標識できる。

問2 輸血用血液の放射線照射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 血液成分のうち放射線の影響（細胞致死）を最も受けるのはリンパ球である。
- B 移植片対宿主病（GVHD）を防ぐことが目的である。
- C 吸収線量は15～50 Gyである。
- D 新鮮凍結血漿^{しょう}に用いる。

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

〔解答〕1

〔解説〕

- A：正 リンパ球の細胞致死による減少は被ばく後24時間で観察可能であり、放射線照射により間期死が速やかに生じ、血球の中で最も早期に減少が認められる。

- B：正 移植片対宿主病は、輸血血液中の主にリンパ球が宿主を異物として認識して攻撃する疾患であり、選択肢Aのように放射線照射でリンパ球を死滅させて発症を予防している。
- C：正 γ 線(^{137}Cs)や電子線等により、一般に15~50 Gyの吸収線量が照射され、リンパ球を死滅させている。
- D：誤 凍結された血漿では、リンパ球は死滅しているので照射の対象とはならない。

問3 核医学診療で行われる検査・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 [$^{99\text{m}}\text{Tc}$]MDP (メチレンジホスホネート)は、悪性腫瘍の骨転移検査に用いられる。
- B [^{123}I]ヨウ化ナトリウムは、甲状腺機能検査に用いられる。
- C [^{90}Y]抗CD20抗体は、B細胞悪性リンパ腫の治療に用いられる。
- D [^{14}C]メチオニンは、脳腫瘍の診断に用いられる。
- 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 [$^{99\text{m}}\text{Tc}$]MDPはピロリン酸類似体であり、悪性腫瘍の骨転移部位は骨代謝が亢進しており、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ MDPが効率よく取り込まれるため骨転移部位の検査に用いられる。
- B：正 甲状腺は、甲状腺ホルモン産生のためにヨウ素を効率よく取り込むので、 ^{123}I ヨウ化ナトリウムを用い、その甲状腺への集積度から機能診断が可能である。
- C：正 CD20抗原は正常及び腫瘍化したB細胞にのみ発現している分化抗原であり、これに対する抗体に ^{90}Y を標識することで、B細胞悪性リンパ腫に ^{90}Y が集積し、 ^{90}Y からの β^- 線によりがん細胞が死滅する。
- D：誤 脳腫瘍の診断に用いられるのは、PET核種である ^{11}C を用いた ^{11}C メチオニンであり、半減期の長い β^- 壊変核種である ^{14}C は用いられない。

問4 腫瘍細胞の放射線感受性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 固形腫瘍において、血管からおおよそ70 μm 以内は放射線感受性が低下する。
- B 低酸素環境下で転写因子HIF1が誘導され、低酸素環境への適応に機能する。
- C 照射を複数回繰り返すことにより、低酸素細胞が順次再酸素化して放射線感受性を回復する。
- D 腫瘍組織には少数の放射線抵抗性の高いがん幹細胞が存在する。
- 1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕4

〔解説〕

- A：誤 血管に近接した約70 μm の領域は、低酸素状態には陥りにくいため放射線感受性が低下することは少ないと考えられる。
- B：正 HIF1が低酸素状況で誘導され、一連の低酸素環境への適応が促進される。

- C：正 低酸素細胞の多いがん組織の中心部までを死滅させるために、血管に近い酸素分圧の高いがん細胞を1回目の照射によりまず死滅させて周辺部の酸素分圧を高め、その後の照射を行うことで低酸素領域であったがん組織を酸素効果により死滅させることができる。これを繰り返すことで、中心部まで再酸素化を促すがん治療が行われている。
- D：正 数は限られるが、がん組織には放射線や抗がん剤に耐性の高いがん幹細胞が存在する。

問5 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 分裂能の高い細胞が水晶体の中心部に存在する。
B 網膜が変性すると白内障が発症する。
C 放射線白内障は、腸死のしきい線量より低い線量で生じる。
D 放射線白内障の重篤度は線量に依存する。
E 放射線白内障の治療には角膜移植が行われる。

- 1 AとB 2 AとE 3 BとD 4 CとD 5 CとE

〔解答〕4

〔解説〕

- A：誤 水晶体の表面の前極部から赤道部にかけて、単層の分裂能のある上皮細胞が存在する。
B：誤 水晶体が変性すると白濁が生じ白内障が発症する。
C：正 放射線による白内障のしきい線量は近年 0.5 Gy 程度と示唆されており、腸死のそれは 10 Gy 以上である。
D：正 放射線白内障は確定的影響であり、線量に比例して重篤度が上昇する。
E：誤 放射線白内障の治療では、濁った水晶体を取り除き、代わりに人工水晶体を挿入する外科手術等が行われる。

問6 5 Gy の γ 線を急性局所被ばくした場合に起こり得る皮膚変化を、早く現れる順に並べたものは次のうちどれか。

- 1 一時的脱毛 → 乾性落屑^{せつ}
2 一時的紅斑 → 乾性落屑^{せつ}
3 一時的脱毛 → 一時的紅斑
4 一時的紅斑 → 一時的脱毛
5 乾性落屑^{せつ} → 一時的脱毛

〔解答〕4

〔解説〕皮膚において γ 線による 5 Gy の急性局所被ばくを受けた場合、一時的紅斑は、2~3 日以内に認められるが、一時的脱毛は 2~3 週間ほどの潜伏期がみられる。乾性落屑は、しきい線量が 10 Gy 程度であり、潜伏期は 4 週間ほどである。よって 5 Gy では、乾性落屑は発症しない。

問7 原爆被爆者における全固形がんによる死亡の過剰相対リスクおよび過剰絶対リスク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 過剰相対リスクは、到達年齢が同じであれば、一般に被爆時年齢が低いほど大きい。
- B 過剰相対リスクは、被爆時年齢が同じであれば、一般に到達年齢が低いほど大きい。
- C 過剰絶対リスクは、到達年齢が同じであれば、一般に被爆時年齢が低いほど大きい。
- D 過剰絶対リスクは、被爆時年齢が同じであれば、一般に到達年齢が低いほど大きい。

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

〔解答〕1

〔解説〕

A：正 一般に被爆時年齢が低いほど放射線リスクが高いことが、原爆被爆者の調査により明らかになっている。

B：正 過剰相対リスクは、被爆時年齢が同じ場合、到達年齢が高くなるほど小さくなる。

C：正 Aの説明を参照。

D：誤 過剰絶対リスクは、被爆時年齢が同じ場合、到達年齢が高くなるほど大きくなる。

問8 原爆被爆者の調査において、有意な増加が認められているものの組合せはどれか。

- A 胃がん
- B 甲状腺がん
- C 急性骨髄性白血病
- D 成人T細胞白血病
- E 遺伝性（的）影響

1 ABCのみ 2 ACEのみ 3 ADEのみ 4 BCDのみ 5 BDEのみ

〔解答〕1

〔解説〕

A～C：正 すべて有意な増加が認められている。

D：誤 成人T細胞白血病は、レトロウイルス HTLV-1 の感染によって発症する白血病である。

E：誤 ヒトでは、放射線による遺伝的影響は認められていない。

問9 放射線の組織反応の潜伏期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 潜伏期が長い組織反応は、確率的影響に分類される。
- B 潜伏期の長さは、同じ組織反応であっても生物種によって異なる場合がある。
- C 潜伏期にも、組織に変化が見られる場合がある。
- D しきい線量が低い組織反応ほど、潜伏期が短い。

1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕4

〔解説〕

- A：誤 放射線白内障では潜伏期は数年～数十年と長い、確定的影響である。
- B：正 放射線感受性は生物種によって異なり、一般にヒトを含む哺乳類は高感受性で下等な生物ほど低いことが知られ、同じ組織反応でも潜伏期が異なるものがある。
- C：正 例えば、マウスで10~30 Gyの被ばくにより腸死にて平均3.5日の潜伏期の後に死亡するが、早期の段階から腸上皮の幹細胞であるクリプト細胞の増殖が停止し、小腸粘膜組織の剥離が生じている。
- D：誤 放射線白内障では、しきい線量は近年0.5 Gy程度と示唆されているが、潜伏期は数年以上と長い。

問10 日本における自然放射線による被ばく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 国民1人当たりの年間平均被ばく線量は2.1 mSvと推定されている。
- B 経口摂取による内部被ばくに最も大きく寄与する核種は、カリウム40であると推定されている。
- C 地上での宇宙線による被ばく線量率は、高度が同じであれば、緯度が高い方が高い。
- D 地上での宇宙線による国民1人当たりの年間平均被ばく線量は、大地からの放射線による国民1人当たりの年間平均被ばく線量の約2分の1である。
- 1 ABDのみ 2 ACのみ 3 BCのみ 4 BDのみ 5 ACDのみ

〔解答〕2

〔解説〕

- A：正 日本では世界平均の2.4 mSvより少し低い。
- B：誤 経口摂取による内部被ばくへの寄与が最も大きいのは、 ^{210}Po や ^{210}Pb といった核種である。
- C：正 緯度が高い地方は、地球磁場により宇宙線が集中して流れ込むため、被ばく線量率は高くなる。
- D：誤 本邦での国民一人あたりの地上での宇宙線による年間平均被ばく線量は0.31 mSv/年であり、大地からのそれは0.33 mSv/年である。

問11 人工放射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 日本における医療被ばくの1人当たり1年当たりの平均実効線量は、約0.5 mSvであると推定されている。
- B X線診断の年間集団実効線量では、CTによるものの寄与が最も大きい。
- C UNSCEAR2020/2021年報告における推定では、成人におけるCT検査1回当たりの平均実効線量は2~13 mSv程度であるとされている。
- D 大気圏内核実験で放出された放射性核種に起因する、2000年からの100年間に受ける被ばくの集団実効線量預託に最も大きく寄与する核種は ^{137}Cs である。

(令和5年度) 第1種生物学

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

〔解答〕4

〔解説〕

A：誤 日本では、約2.6 mSv/年と推定されている。

B：正 CTでは一回の診断で2～13 mSvの被ばくとなり受診者も多いことから、寄与が最も大きい。

C：正 同上

D：正 2000年からの100年間に受ける被ばくの集団実効線量預託に最も寄与する核種は、 ^{137}Cs とされる。

問12 預託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 人の体内に取り込まれた放射性核種による長期間にわたる内部被ばくを評価するために用いられる。

B 単位はシーベルト (Sv) である。

C 成人の場合、摂取後50年間にわたって積算した放射線量で評価される。

D 幼児と小児の場合、摂取後70歳までの期間にわたって毎年均等に割り当てられる。

- 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～C：正 選択肢の記載の通りである。

D：誤 幼児と子供は、摂取して70歳までの期間を考慮されるのは正しいが、体内に取り込んだ放射性物質は、物理的半減期や代謝排泄により時間と共に体内から減少するため、歳をとるに従い、年間当たりの預託実効線量は減少してゆく。

問13 活性酸素種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 呼吸や代謝などによって生成される。

B 電離放射線では生ずるが紫外線では生じない。

C 過酸化水素は活性酸素種の一種である。

D 人体には活性酸素種を無害化する酵素がある。

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

〔解答〕3

〔解説〕

A：正 生体内では主にミトコンドリアや種々の酵素反応で活性酸素種が生成される。

B：誤 紫外線でも、一重項酸素といった活性酸素種が生成する。

C：正 過酸化水素やスーパーオキシド、ヒドロキシルラジカル、一重項酸素は活性酸素種である。

D：正 過酸化水素を分解するカタラーゼやスーパーオキシドを分解するスーパーオキシドディスムターゼなどが生体内に存在する。

問14 放射線などによるDNA塩基の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 チミングリコールは電離放射線だけでなく紫外線によっても生成される。
- B 8-オキシグアニンは突然変異の原因となる。
- C DNA鎖に取り込まれる以前の損傷塩基を分解する酵素がある。
- D APエンドヌクレアーゼによって損傷塩基と糖鎖との結合を切断する。

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

〔解答〕1

〔解説〕

A：正 チミングリコールは、電離放射線だけでなく、紫外線や活性酸素によってもDNA中に生じる損傷塩基である。

B：正 8-オキシグアニンは、電離放射線や紫外線、活性酸素によりDNAが損傷した際に生成する代表的な化合物（DNA付加体）であり、遺伝子突然変異や老化に深く関与すると考えられている。

C：正 細胞にはDNA損傷を修復する機能があり、DNAが損傷を受けると、修復酵素が除去・修復する。DNA鎖に取り込まれる前の除去修復と取り込まれた後の複製後修復の両方がある。

D：誤 APエンドヌクレアーゼは、DNA骨格のホスホジエステル結合を切断する。

問15 DNA損傷の細胞応答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 DNA損傷を認識しその情報を伝達するタンパク質が存在する。
- B 細胞周期の進行を停止する機構がある。
- C 損傷部位付近のクロマチン構造の変化が損傷の修復に関わる。
- D 転写因子の活性化によって細胞死を誘導する経路がある。

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

〔解答〕5

〔解説〕

A：正 DNA損傷を認識し修復機構を呼び込むタンパク質が存在する。

B：正 真核細胞は、DNA損傷の修復機構に加えて、生体をDNA損傷から防御するためのチェックポイント機構を備えている。チェックポイント機構はDNA損傷が発生すると細胞の増殖を止めたり、細胞死（アポトーシス）を誘導したりする機構である。

C：正 DNA損傷領域のクロマチン構造の変化は、損傷を感知するタンパク質の働きを助け、修復に関わっている。

D：正 放射線によりDNAが損傷を受け、DNA損傷を認識する機構が活性化される。この活性化

によりシグナルが伝達され、転写が活性化されて、細胞死（アポトーシス）や細胞周期停止などの細胞応答が誘導される経路が存在する。

問 16 放射線照射によって誘発される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 末梢^{しょう}血のリンパ球に誘発されるアポトーシスは、生物学的線量評価に利用される生体応答現象の一つである。
- B 細胞の縮小と核の凝縮を伴う。
- C 照射後に細胞分裂した細胞では誘発されない。
- D 正常な p53 タンパク質により抑制される。

1 ABD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 CD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕 2

〔解説〕

A：正 ヒト末梢血リンパ球は、放射線照射に対して高い感受性を示し、人類はもちろん哺乳類が放射線に弱いことの大きな原因となっている。そのため、生物学的線量評価に利用される生体応答現象の一つとなっている。

B：正 アポトーシスにより、細胞膜と核内構造変化を伴う細胞サイズの縮小が始まる。細胞核はクロマチン構造がなくなり凝縮する。核全体の凝縮は激しく、細胞全体のサイズの縮小が起こる。

C：誤 放射線誘発アポトーシスは、照射後分裂を介さずに起こる間期死型と、数回の分裂を経て生じる増殖死型がある。

D：誤 がん抑制遺伝子として知られる p53 タンパク質により、アポトーシスは誘導される。

問 17 放射線による腸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 被ばく 24 時間後も絨毛^{じゅうもう}上皮細胞は移動し続ける。
- B 被ばくにより腸管上皮細胞の増殖細胞数が減少する。
- C 腸の急性放射線障害が発症する時点で、末梢^{しょう}血中のリンパ球の数は減少しない。
- D 脱水や感染症が主な死因になる。

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 消化管の上皮は常に新しい細胞に置き換わる新陳代謝が激しい臓器なので、放射線感受性が高い。10 Gy 前後の線量を全身に受けた場合、腸粘膜上皮細胞の欠損が生じ、この部位からの出血や体液の喪失が被ばく後 3～5 日頃から始まると言われている。そのため、被ばく後 24 時間後も絨毛上皮細胞は移動し続けていると考えられる。

- B：正 消化管の上皮は常に新しい細胞に置き換わる新陳代謝が激しい臓器なので、放射線感受性が高い。そのため、腸管上皮細胞の増殖細胞数は減少する。
- C：誤 腸の急性放射線障害が発生していることから、10 Gy 近い全身被ばくであると考えられる。また、発症期は4～9日頃と考えられている。一方、リンパ球の減少は1 Gy 程度で1日後から観察され、10 Gy 近い場合4～9日後でも減少が続くため、腸の急性放射線障害が発生する時点で、末梢血中のリンパ球は減少していると考えられる。
- D：正 上皮細胞再生の不全により出血や体液喪失が持続し、さらに感染症を合併して重症度を増し、死亡に至る。

問18 放射線により誘発され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。

- A 環状染色体は不安定型異常である。
- B 二動原体染色体の出現頻度から、被ばく後の経過時間を推定することができる。
- C γ 線を全身被ばくした場合、二動原体染色体の出現頻度は、線量率によらず、被ばく線量に比例する。
- D 安定型異常は発がんの原因になる。
- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕3

〔解説〕

- A：正 環状染色体は、不安定型染色体異常に分類され、その形態的特徴から分裂後期に架橋を形成して分裂障害を引き起こすため、それを有する細胞は分裂ごとに消失していく。
- B：誤 二動原体染色体は、放射線の被ばくによって特異的・定量的に生じる代表的な染色体異常の一つである。形態が特徴的であるため、動原体（セントロメア）を染色することで容易に異常染色体が識別できる。そのため、生物学的な線量の推定を行う際の有力な指標となっている。
- C：誤 線量率効果が生じるため、二動原体染色体の出現頻度も線量率に影響される。
- D：正 安定型染色体異常は細胞分裂が可能であり、長期間安定して存在することから、発がんの原因になり得ると考えられる。

問19 多標的1ヒットモデルおよびそれに基づく細胞生存率曲線（片対数グラフ表示）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 すべての標的に1個以上のヒットが生ずると細胞死に至るとの考えに基づいている。
- B D_q （準しきい線量）は生存率が37%となる線量である。
- C 生存率曲線は、低線量域で傾きの小さななだらかな曲線となる。
- D D_0 （平均致死線量）が大きいほど分割照射による回復効果は小さくなる。
- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとD 5 CとD

〔解答〕2

〔解説〕

- A：正 多標的1ヒットモデルでは、細胞内にいくつかの標的があり、そのすべてが放射線によってヒットされると細胞が死亡すると仮定している。
- B：誤 生存率が37%となる線量は、 D_0 （平均致死線量）である。
- C：正 細胞生存率曲線（縦軸：細胞生存率、横軸：線量）を縦軸のみ対数表示した場合、低線量領域では直線的にならず、傾きが小さくなだらかな曲線となっている。この曲線の肩の大きさを表しているのが D_q （準しきい線量）である。
- D：誤 D_0 （平均致死線量）は細胞の放射線感受性を表している。一方、回復の指標となっているのは D_q （準しきい線量）である。また、 D_0 が大きいほど同じ生存率になるのに必要な線量が大きいため、分割照射すると回復効果は大きくなると考えられる。

問20 γ 線の細胞致死作用を修飾する要因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 DNA分子の周辺にラジカル消去剤が存在すると、放射線感受性は低下する。
- B 放射線防護剤の線量減少率（DRF）は最大で3程度である。
- C 5-ブロモデオキシウリジンは放射線によるDNA損傷の生成を軽減する。
- D ミソニダゾールは、低酸素下でDNA損傷の生成を増強する。
- 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 低LET放射線である γ 線は間接作用による1本鎖切断が主である。放射線防護剤（ラジカルスカベンジャー）により間接作用は低減できる。
- B：正 低酸素状態での線量減少率（DRF）の最大値として3に近い値の報告がある。
- C：誤 5-ブロモデオキシウリジンは放射線増感剤である。
- D：正 ミソニダゾールは放射線増感剤である。高酸素下では、酸素がミソニダゾールよりも電子親和性が強いいため、ミソニダゾールの増感作用が発揮されないが、低酸素下では発揮される。

問21 1 Gyの γ 線急性被ばくが生殖細胞に与える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 精子数は被ばく直後（24時間以内）には変化しない。
- B 卵母細胞は被ばく直後（24時間以内）に体細胞分裂を停止する。
- C 細胞死は精細胞より精原細胞に多く起こる。
- D 細胞死は卵母細胞より卵に多く起こる。
- E 被ばく後3週以降に男性女性ともに永久不妊となる。
- 1 AとC 2 AとD 3 BとC 4 BとE 5 DとE

〔解答〕1

〔解説〕

- A：正 精子数は被ばく後3週間程度から減少する。
B：誤 卵巣への影響のしきい線量は3 Gy程度と考えられている。
C：正 精原細胞は放射線の感受性が高い。
D：誤 卵母細胞の方が感受性が高い。
E：誤 男女とも永久不妊となるためには3 Gy程度以上の線量を要する。

問22 放射線照射によって細胞に起こりうる現象として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 低線量照射によって、その後の高線量照射による細胞致死効果が軽減される。
B 照射された細胞の近隣細胞にもDNA損傷が誘発される。
C 照射後数世代の細胞分裂を経たあとに突然変異が誘発される。
D 高線量照射によって、ネクロシスが誘導される。
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 低線量照射によって、その後の高線量照射による細胞致死効果が軽減されることが報告されている。
B：正 放射線を照射した細胞で認められるような効果（細胞の増殖阻害、DNAや染色体の損傷、突然変異の誘発など）が、その周囲の非照射細胞にも現れる現象をバイスタンダー効果と呼ぶ。
C：正 DNAに損傷を残したまま細胞が分裂増殖し、誤った遺伝情報が次世代に引き継がれて突然変異を起こしたり、染色体異常を起こしたりする。
D：正 ネクロシスは遺伝的に制御されていない偶発的・受動的な細胞死であり、比較的高線量の放射線照射後にみられる。

問23 ヒトの胎内被ばく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 受精後4週までを着床前期と呼ぶ。
B 器官形成期の被ばくでは、胎児期の被ばくに比べて、精神遅滞が顕著に増加する。
C 胎児期の被ばくでは、発がんのリスクが高まる。
D 着床前期の被ばくでは、死産は増加しない。
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 着床は受精後約12日前後で完了する。

- B：誤 器官形成期に被ばくすると、器官形成異常（奇形）が起こることがある。一方、脳が活発に発育している時期（胎児前期）に被ばくすると、精神発達遅滞の危険性がある。
- C：正 胎児期は放射線感受性が高く、がんや遺伝性影響といった確率的影響のリスクも高まる。
- D：正 妊娠のごく初期（着床前期）に被ばくすると流産が起こることがある。死産は器官形成期の被ばくにより増加すると考えられている。

問 24 放射線による遺伝性（的）影響に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 特定座位法を用いたマウス実験において、線量率効果は認められていない。
- 2 特定座位法を用いたマウス実験で見られた変異は、主に潜性（劣性）である。
- 3 遺伝性（的）影響のリスク推定に用いられる倍加線量法は直接法とも呼ばれる。
- 4 倍加線量が大きいことは、遺伝性（的）影響が起こりやすいことを意味する。
- 5 ICRP2007 年勧告では、ヒトの倍加線量として 4 Gy を採用している。

〔解答〕 2

〔解説〕

- 1：誤 特定座位法を用いたマウス実験において、線量率効果は認められる。
- 2：正 特定座位法を用いたマウス実験では、主に潜性（劣性）変異であるとの報告がある。
- 3：誤 倍加線量法は放射線の遺伝性（的）影響の評価に用いられている。照射実験のできる生物種では単位線量当りの誘発突然変異を調べる直接法が用いられている。一方、照射実験のできないヒトには、間接法という工夫された倍加線量法が用いられている。
- 4：誤 倍加線量が大きいということは、影響が起こるのに大きな線量を要するため、影響は起こりにくい。
- 5：誤 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。

問 25 ICRP2007 年勧告における損害で調整された確率的影響の名目リスク係数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、全集団とは被ばく時年齢が 0～85 歳の集団、成人とは被ばく時年齢が 18～64 歳の集団とする。

- A 全集団のがんの名目リスク係数は、成人のがんの名目リスク係数より大きい。
- B 全集団のがんの名目リスク係数は、全集団の遺伝性（的）影響の名目リスク係数より大きい。
- C 全集団のがんの名目リスク係数は、1 Sv 当たり 5.5 である。
- D 全集団の遺伝性（的）影響の名目リスク係数は、1990 年勧告より小さくなっている。
- 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 がんについて、全集団の名目リスク係数が $5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ であるのに対し、成人の名目リスク係数は $4.1 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ となっている。

- B：正 全集団のがんの名目リスク係数が $5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ であるのに対し、全集団の遺伝性（的）影響の名目リスク係数は $0.2 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ となっている。
- C：誤 全集団のがんの名目リスク係数は、 $5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ となっている。
- D：正 ICRP1990 年勧告では、全集団の遺伝性（的）影響の名目リスク係数は $1.3 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ であり、ICRP2007 年勧告では値が $0.2 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ に小さくなっている。

問 26 放射線の細胞致死作用と LET 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 LET の増加とともに、酸素増感比が低下する LET 領域がある。
- B LET の増加とともに、生物学的効果比が低下する LET 領域がある。
- C 低 LET 放射線よりも高 LET 放射線において、照射後の亜致死損傷の回復が顕著に観察できる。
- D 荷電粒子線のエネルギーが高いほど LET は増加する。
- 1 A と B 2 A と C 3 B と C 4 B と D 5 C と D

〔解答〕 1

〔解説〕

- A：正 LET の増加により間接作用の寄与が小さくなり、酸素効果も間接作用の一つであるため、LET の増加に伴い低下する。
- B：正 LET の増加により生物学的効果比は増加する傾向があるが、ピークに達すると低下する。
- C：誤 高 LET 放射線では電離密度が高いため、照射後の亜致死損傷からの回復がほぼない。
- D：誤 LET は放射線の電荷の 2 乗に比例し、エネルギーに反比例する。

問 27 RBE 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 DNA 二本鎖切断修復遺伝子を欠損したヒト培養線維芽細胞で得られた致死効果における RBE は、正常細胞で得られた値よりも大きくなる。
- B 放射線加重（荷重）係数を決めるときの基礎データとなっている。
- C 細胞致死効果と突然変異誘発効果とは異なる値を示すことがある。
- D 一般に、高吸収線量域で得られた致死効果における RBE は、低吸収線量域で得られた値よりも小さくなる。
- 1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕 4

〔解説〕

- A：誤 通常 LET の増加に伴い RBE は大きくなることが言われているが、これには二本鎖切断の修復が関与する。DNA 二本鎖切断修復遺伝子欠損細胞においては、二本鎖切断修復遺伝子を有する正常細胞に比較して RBE が小さくなる。
- B：正 低線量域における確率的影響の RBE を参考に、放射線加重（荷重）係数が定められている。

C: 正 効果の指標によって値が異なることがある。

D: 正 吸収線量の増加に伴い RBE は小さくなる。

問 28 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 陽子線の RBE は約 5 と評価されている。

B 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。

C 単位吸収線量当たりの細胞致死効果は、炭素イオン線ではブラッグピーク部でプラトー部より高い。

D 電子線は表在性腫瘍の治療に用いられる。

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

〔解答〕 5

〔解説〕

A: 誤 陽子線の RBE は 1.1～1.2 とされている。

B: 正 ^{125}I は前立腺内に挿入されて放射線を照射させる前立腺がんの小線源療法として用いられる。

C: 正 炭素イオン線の単位吸収線量当たりの細胞致死効果はブラッグピーク部がプラトー部の 2～4 倍高くなる。

D: 正 電子線は表在部で線量がピークとなり、深部では急激に減少して到達しない特徴があるため表在部腫瘍の治療に用いられる。

問 29 ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) 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 速中性子が原子核に捕獲される核反応を利用する。

B 核反応により生成される α 粒子とリチウム反跳核の高い細胞致死効果を利用する。

C 照射前にホウ素を含む薬剤を正常細胞に集積させる。

D 悪性黒色腫の治療に有効である。

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 ホウ素中性子捕捉療法では速中性子ではなく、熱中性子が用いられる。

B: 正 熱中性子線がホウ素と衝突して核反応を起こし、 α 粒子とリチウム反跳核が発生し、これらががん細胞に対して高い細胞致死効果を発揮する。

C: 誤 正常細胞ではなくがん細胞にホウ素を含む薬剤を集積させる。

D: 正 頭頸部がんや悪性黒色腫での臨床例があり、その効果が報告されている。

問 30 医療被ばく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 医療従事者が診療業務中に受ける被ばくは含まれない。

(令和5年度) 第1種生物学

- B 1人当たり1年当たりの平均実効線量は、治療と診断による被ばくの合計で評価されている。
- C 日本における1人当たり1年当たりの平均実効線量は、世界平均よりも高い。
- D 線量限度が適用されない。
- 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 医療被ばくは、患者が放射線を用いた診断と治療による被ばくを指す。医療従事者が診療業務中に受ける被ばくは、職業被ばくに該当する。
- B：誤 医療被ばくは、診断と治療による被ばくが対象であるが、実効線量では診断による被ばく線量が用いられ、治療による被ばく線量は用いられない。
- C：正 医療被ばくの世界平均は年間 0.6 mSv であるのに対し、日本は年間 3.9 mSv と高い。日本の CT 装置保有台数は世界一で、年間約 3 千万件もの CT 検査が行われており、医療被ばくが世界平均に比較して多いことが要因になっていると考えられている。
- D：正 職業被ばくと公衆被ばくには線量限度が設けられているが、医療被ばくにおいては線量限度を設けると必要な検査や治療を受けられないケースが生じるため、設定されていない。

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。

1 増殖する細胞において、細胞分裂から次の細胞分裂までの1サイクルを細胞周期といい、M期→G₁期→S期→G₂期→M期のプロセスが繰り返される。細胞周期において放射線致死効果の感受性はAで最も高く、Bで低くなる。G₁期が長い細胞では、Cで感受性が低くなることもある。Aで感受性が高くなるのは、DNA二本鎖切断が存在することによって染色体の正確なDが阻害されるためと考えられる。また、Bで感受性が低くなるのは、DNA二本鎖切断修復機構のうち、より精度の高いEが効率的に機能するためと考えられている。細胞はゲノムに異常がないか、細胞周期の複数の時期においてチェックする機能を有している。これを細胞周期チェックポイントといい、細胞周期の時期によって異なる分子機構が働き、異なる名称が付されている。そのうちの1つであるFは、正常線維芽細胞においてはDNA二本鎖切断を検知したATMが転写因子アを誘導し、これが細胞周期の進行に機能するcdk2の阻害因子であるp21を誘導することを通して起動する。ATMはタンパク質G酵素でありアをGすることによりイからの解離を促進し、安定化させている。ATM遺伝子はHというI遺伝病の原因遺伝子であり、この疾患の患者の細胞では細胞周期チェックポイント機能が不十分であるため、患者は高い頻度でがんを発症する。

<A~C の解答群>

- 1 M期 2 G₁期前半 3 S期前半
4 G₁期後半からS期 5 S期後半からG₂期

<D の解答群>

- 1 分配 2 合成 3 組換え 4 複製

<E、F の解答群>

- | | | |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 スクレオチド除去修復 | 2 非相同末端結合修復 | 3 相同組換え修復 |
| 4 塩基除去修復 | 5 ミスマッチ修復 | 6 S チェックポイント |
| 7 スピンドルチェックポイント | 8 G ₁ /S チェックポイント | 9 G ₂ /M チェックポイント |

<ア、イの解答群>

- | | | | |
|--------------|---------|-----------|---------|
| 1 HDM2(MDM2) | 2 CHK2 | 3 サイクリン B | 4 p53 |
| 5 p21 | 6 Noxa | 7 ATR | 8 Rad51 |
| 9 XPC | 10 NBS1 | | |

<G の解答群>

- | | | | |
|---------|----------|----------|--------|
| 1 メチル化 | 2 還元 | 3 ユビキチン化 | 4 リン酸化 |
| 5 アセチル化 | 6 SUMO 化 | | |

<H の解答群>

- | | | |
|-------------|----------------|-----------|
| 1 色素性乾皮症 | 2 複合免疫失調症 | 3 ファンコニ貧血 |
| 4 ナイミーヘン症候群 | 5 毛細血管拡張性運動失調症 | |

<I の解答群>

- | | | |
|---------------|---------------|-------------|
| 1 常染色体顕性 (優性) | 2 常染色体潜性 (劣性) | 3 伴性顕性 (優性) |
| 4 伴性潜性 (劣性) | 5 慢性多因子性 | |

〔解答〕 I A－1 B－5 C－2 D－1 E－3 F－8

 ア－4 イ－1 G－4 H－5 I－2

〔解説〕

A、B、C：M 期は放射線感受性が最も高く、G₁ 期後期～S 期前期も放射線感受性が高い。S 期後期から G₂ 期前期及び G₁ 期前期は、放射線感受性が低い。

D：M 期は分裂期であり、染色体を均等に娘細胞に分配する時期である。

E：相同組換え修復は姉妹染色体を必要とし修復精度が高く、姉妹染色体が存在する S 期後期から G₂ 期前期で起こる

F、ア、イ、G：G₁/S 期チェックポイントでは、放射線による DNA 損傷に際し、ATM は p53 をリン酸化することで活性化させる。さらに HDM 2 (MDM2) は ATM によって直接リン酸化されることにより p53 の蓄積に貢献する。p53 の活性化は、p21 の発現誘導を介して cdk2 の活性を抑制することにより、G₁/S 期チェックポイントを制御している。

H、I：毛細血管拡張性運動失調症は 11 番染色体劣性遺伝病である。DNA 損傷があってもチェックポイント機能が働かず、DNA 損傷がある状態で細胞分裂が行われるため発がん率が高く、特にリンパ腫白血病が多い。毛細血管拡張性運動失調症では G₁/S 細胞周期チェックポイント機構が備わっていないため、その患者由来の線維芽細胞には細胞周期チェックポイントに異常が示される。ATM タンパク質は p53 タンパク質をリン酸化することで細胞の増殖をコントロール

していることが明らかにされている。

II 細胞に放射線を照射する際に、時間間隔を設けて複数回に分けて照射することを 照射という。X線の一定の線量を1度に照射する場合に比べ、 照射することで細胞の生存率は一般的に高くなる。これは、照射と照射の間に と呼ばれる損傷が修復されるためと考えられ、その現象は発見者の名前に因んで 回復と呼ばれている。がんの放射線治療において、一般的にがん細胞では正常細胞に比べて 回復による回復能が低いことに基づき 照射が用いられている。しかし、時間間隔によっては、例えば1回目の照射で生き残った の細胞が2回目の照射時に 移行することによって が起こるなどして、生存率が低下することがある。

<Jの解答群>

- 1 低線量率 2 分割 3 長期 4 遷延 5 単純

<K、Lの解答群>

- 1 初期損傷 2 クラスター損傷 3 塩基損傷 4 潜在的致死損傷
5 亜致死損傷 6 線量率効果 7 細胞増殖 8 再分布
9 初期化 10 細胞老化

<ウの解答群>

- 1 レントゲン 2 ベルゴニー・トリボンドー 3 エルカインド
4 マリ・キュリー 5 マラー

〔解答〕II J-2 K-5 L-8 ウ-3

〔解説〕1度に照射した場合と同じ線量を分割して照射した場合とでは、細胞致死効果が異なり、分割照射した場合は1度に照射の時よりも生存率が高くなる。この現象は亜致死損傷回復と呼ばれるが、エルカインドらがチャイニーズハムスター細胞を用いて分割照射法による回復作用により証明したためエルカインド回復とも呼ばれる。

分割照射では1回目の照射で、放射線感受性が低いS期後期からG2期前期及びG1期前期が生存したとしても、生存した細胞が各細胞周期に再分布し、そこで2度目の照射が行われると放射線感受性が最も高いM期に再分布した細胞は死滅する。

問32 次のI～III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、塩基から構成される。塩基には、アデニン(A)、グアニン(G)、シトシン(C)、チミン(T)の4種類がある。図1のa～fの中でグアニンの構造を示しているものは である。ただし、図1で炭素原子および炭素原子に直接結合している水素原子は省略している。また、窒素原子から下方に伸びる価標はデオキシリボースに結合している。

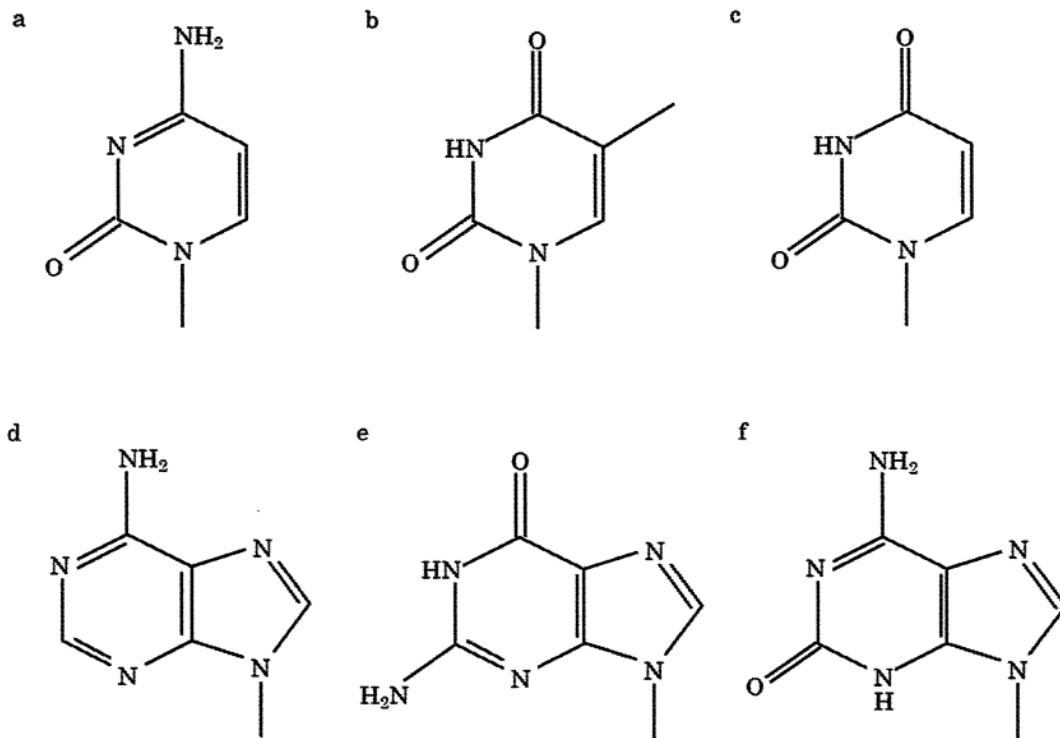


図1

DNA は二重らせん構造を持ち、相対する 2 本の鎖の **B** が **C** 結合によって対をなす。DNA 複製における DNA 鎖の合成 (伸長) は **D** の方向に進行する。一方の鎖のある場所で **D** 方向に AGTC の配列で並んでいるとすると、相対する鎖においてこの 4 個の塩基と **C** 結合によって対をなす塩基の配列を **D** 方向に並べると **E** となる。また、一方の鎖の AGTC ともう一方の鎖の **E** との間の **C** 結合の数は **F** である。

<A の解答群>

- 1 a 2 b 3 c 4 d 5 e 6 f

<B の解答群>

- 1 同じ塩基同士 2 A と G、C と T 3 A と C、G と T 4 A と T、G と C

<C の解答群>

- | | | |
|------------|---------|-------------|
| 1 アミド | 2 グリコシル | 3 高エネルギーリン酸 |
| 4 水素 | 5 疎水 | 6 ペプチド |
| 7 リン酸ジエステル | | |

<D の解答群>

- | | | |
|---------------|---------------|---------------|
| 1 3'末端から 5'末端 | 2 5'末端から 3'末端 | 3 C 末端から N 末端 |
| 4 N 末端から C 末端 | | |

<E の解答群>

- 1 AGTC 2 GACT 3 CTGA 4 TCAG

<Fの解答群>

1 1	2 2	3 3	4 4	5 5
6 6	7 7	8 8	9 9	10 10
11 11	12 12	13 13	14 14	15 15

〔解答〕 I A-5 B-4 C-4 D-2 E-2 F-10

〔解説〕

A：a～fの構造のうちシトシンがa、チミンがb、ウラシルがc、アデニンがd、グアニンがeである。

B～F：DNAにおいてアデニン(A)とチミン(T)、グアニン(G)とシトシン(C)が結合する。AはTと2本の水素結合で結ばれる。一方、GとCは3本の水素結合で結ばれる。DNAの合成はDNA親鎖を3'→5'方向に読み取り、親鎖と相対的な鎖(娘鎖)を5'→3'方向に合成(伸長)する。そのため親鎖が5'→3'方向にAGTCと並んでいる場合、親鎖からみて娘鎖はTCAGとなるが、方向が娘鎖は逆になるため5'→3'方向となるとGACTとなる。この領域においてAとTの組み合わせが2個(水素結合の数は $2 \times 2 = 4$ 個)、GとCの組み合わせは2個(水素結合の数は $2 \times 3 = 6$ 個)であるから、水素結合の総数は10個となる。

II 放射線によって生じるさまざまなDNA損傷の中で、DNA二本鎖切断は放射線の細胞致死効果に最も密接に関わるものと考えられている。ヒトの正常二倍体細胞に1 Gyの γ 線を照射すると、細胞1個当たり約 G 個のDNA二本鎖切断が生じる。DNA依存性プロテインキナーゼ触媒サブユニット(DNA-PKcs)はDNA二本鎖切断の H 修復に重要な役割を担う。DNA-PKcsの遺伝子に変異を有するヒトやマウスでは、細胞の放射線高感受性に加え、I 機能の異常が見られる。これはV(D)J組換えと呼ばれる J 遺伝子の再編成過程に H が関わるためである。

<Gの解答群>

1 4	2 40	3 400	4 4,000
-----	------	-------	---------

<Hの解答群>

1 塩基除去	2 ヌクレオチド除去	3 相同組換え
4 非相同末端結合		

<Iの解答群>

1 肝	2 心	3 腎	4 肺	5 生殖
6 免疫				

<Jの解答群>

1 インスリン	2 カルシウムイオンチャネル
3 増殖因子	4 ステロイドホルモン受容体
5 神経伝達物質受容体	6 抗体

〔解答〕 II G-2 H-4 I-6 J-6

〔解説〕

G：ヒトの正常二倍体細胞に1 Gyの γ 線を照射した場合、細胞1個あたり、1本鎖切断では約1000個、2本鎖切断では約40個生成する。

H：DNA2本鎖切断は非相同末端結合と相同組換えの2つの機構で修復される。非相同末端結合修復は切断部位をDNA依存性プロテインキナーゼ触媒サブユニット(DNA-PKcs)とKuヘテロ2量体(Ku70, Ku86)からなるDNA依存性プロテインキナーゼ(DNA-PK)により再結合する修復機構である。

I、J：DNA-PKcs遺伝子に変異を有するSCIDマウスの研究では放射性致死高感受性の他、T細胞とB細胞が欠損し抗体産生ができないため免疫機能異常を呈する。本来、抗体はV(D)J組み換え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。この非相同末端結合にはDNA-PKcsが必要であり、そのためscidマウスにおいて抗体産生できない原因はDNA-PKcs遺伝子に変異によるものと考えられている。

III 以下において、タンパク質のアミノ酸の数え方は、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	
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		ACA		AAA	リシン	AGA	アルギニン
	G	AUG	メチオニン	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	

I 機能の異常を呈するヒト遺伝病患者やマウスにおけるDNA-PKcsの遺伝子の変異の結果生じるmRNAの配列の変化を以下に示す。

変異1 ヒト DNA-PKcs mRNA の 9,185 番の U (下線) が G に置換

9,181 番から 9,190 番まで CUGCUGACAU

変異2 ヒト DNA-PKcs mRNA の 10,721 番の C (下線) が U に置換

10,717 番から 10,726 番まで AAUGCCCUUAG

変異3 マウス DNA-PKcs mRNA の 12,138 番の U (下線) が A に置換

12,134 番から 12,143 番まで GCUAUGCUAA

変異1から変異3の中で正常なタンパク質よりアミノ酸数が少ないタンパク質が作られるのは である。 では、 に対応するコドンが終止コドンに変化し、 個のアミノ酸からなるタンパク質が作られる。このような変異を 変異という。

また、ヒト遺伝病患者で見られる変異には、mRNA の 6,338 番から 6,340 番の塩基が欠失したもの(変異4とする)、1,624 番から 1,776 番の塩基が欠失したもの(変異5とする)もある。変異4と変異5のうち、フレームシフト変異であるものは 。

<Kの解答群>

- 1 変異1 2 変異2 3 変異3

<Lの解答群>

- 1 アスパラギン 2 アラニン 3 アルギニン 4 グリシン
5 グルタミン 6 イソロイシン 7 チロシン 8 トリプトファン
9 バリン 10 ヒスチジン 11 プロリン 12 ロイシン

<Mの解答群>

- 1 3,062 2 3,063 3 3,574 4 3,575 5 4,045
6 4,046

<Nの解答群>

- 1 サイレント 2 ナンセンス 3 ミスセンス

<Oの解答群>

- 1 変異4のみである 2 変異5のみである
3 変異4と変異5の両方である 4 ない

〔解答〕Ⅲ K-3 L-7 M-5 N-2 O-4

〔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。

変異1の9181番から9190番までにおいてはCUC CUG ACA Uと区切られ、下線部がGに置換するとCUG(ロイシン)がCGC(アルギニン)となる。

変異2の10717番から10726番までにおいてはAAU GCC UUA Gと区切られ、下線部がUに置換するとGCC(アラニン)がGUC(バリン)になる。

変異3の12134番から12143番までにおいてはGC UAU GCU AAと区切られ、下線部がA

に置換すると UAU (チロシン) が UAA (終止コドン) となる。変異 3 では終止コドン以降はアミノ酸が作られないため、タンパク質のアミノ酸数は、終止コドンの直前の 12135 番目 $\div 3 = 4045$ 個となる。このように塩基が他の塩基に置き換わり、終止コドンとなってタンパク質合成が止まる変異をナンセンス変異という。

フレームシフト変異は 1~2 塩基の欠失や挿入により塩基配列のコドンがずれて起こる変異を指す。

3 塩基あるいは 3 の倍数の塩基の欠失はフレームシフトとはならずアミノ酸がなくなり、「インフレームシフト欠失」と呼ばれる。

変異 4 は 3 塩基、変異 5 は 153 塩基 ($153 \div 3 = 51$) の欠失であるため、いずれも 3 塩基あるいは 3 の倍数の塩基の欠失であることからフレームシフト変異ではなくインフレームシフト欠失となる。