

問1、線量をシーベルトで示す放射線を下記よりすべて選べ。

1. 紫外線
2. 電波(短波)
3.  $\gamma$ 線
4. 電波(長波)
5. レーザー光
6. 中性子線
7.  $\alpha$ 線
8.  $\beta$ 線
9. マイクロ波
10. 陽子線
11. X線

解答: 3, 6, 7, 8, 10, 11

問2、 $\alpha$ 線についての記述の中で正しいものを1つ選べ。

1.  $\alpha$ 線は、 $\beta$ 、 $\gamma$ (X)線より質量が大きいので物質への透過力が非常に強い
2.  $\alpha$ 線は、Linear energy transferが $\gamma$ (X)線よりも小さい
3.  $\alpha$ 線による被ばくを考えた場合、注意すべきことは外部被ばくよりも内部被ばくである
4.  $\alpha$ 線は、陽子を2つ持っているため物質との相互作用により、頻繁にその軌道を曲げるためジグザグ運動する

解答: 3 解説: 1. 質量が大きい $\alpha$ 線は $\beta$ 線や $\gamma$ 線に比べて透過力が弱く紙一枚で遮蔽可能、2.  $\alpha$ 線や中性子線、重粒子線は高LET放射線、 $\gamma$ 線、X線は低LET放射線に分類される。3.  $\alpha$ 線は、透過力が弱い場合、体外にある場合は、それほど危険ではないが内部被ばくではエネルギーがすべて体内で吸収されてしまうため、内部被ばくは絶対に避けなければならない。

問3、 $\gamma$ 線とX線によるDNA損傷に関する記述のうち正しいものを2つ選べ。

1. 診断で使うX線は、エネルギーが弱く、鉛の防護服で完全に遮蔽できる
2. DNAへの損傷として直接、間接作用がある
3. X線照射の場合、低酸素条件下ではDNA損傷は起こりにくい
4. X線、 $\gamma$ 線を細胞に照射すると、中性子線や $\alpha$ 線に比べて間接作用の割合が小さい

解答: 2, 3 解説:  $\gamma$ 線、X線照射によりDNA損傷が引き起こされると細胞がそれを感知して細胞周期を停止させ、修復する時間を作る。X線や $\gamma$ 線の場合、直接影響のほか間接作用として酸素→スーパーオキシド(フリーラジカル)がDNAに傷を与える。高LET放射線である $\alpha$ 線や中性子線は、直接作用が主である。

問4、中性子線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線(X線)についての記述の中で正しいものを2つ選べ。

1.  $\beta$ 線は電子であり、物質に対する透過力が $\gamma$ 線より強い
2. 同じ吸収線量をもった中性子線と $\gamma$ 線(X線)を比べた場合、人体に重度の障害を引き起こすのは中性子線である
3.  $\gamma$ 線は、物質との相互作用によりジグザグ運動するが、 $\beta$ 線(X線)は物質中を直線的に進む
4. 電荷のない中性子線は物質の中での透過力が強い

解答: 2, 4 解説: 1.  $\beta$ 線は電子、 $\gamma$ 線(X線)は光子。透過力は $\gamma$ 線の方が強い。2. 人体は70%が水できており原子番号の軽い水素原子を多量に含む。中性子は体内で水素原子との衝突によってエネルギーを失うため、 $\gamma$ 線より重篤な障害を引き起こす。3.  $\gamma$ 線と $\beta$ 線が逆。

問5、紫外線について間違った記述を1つ選べ。

1. 窓ガラスで95%以上吸収される
2. 水晶体や網膜に比べて角膜が最も損傷される
3. 紫外線の生物影響を調べる時には、ジュール/kgが紫外線の物理量の表現に使われる
4. 2つのピリミジンが隣あったDNA鎖において紫外線はそのピリミジンの間に新たに共有結合（ピリミジンダイマー）を作る

解答：3 解説：紫外線はガラス、水や生体の中をほとんど透過できない。したがって紫外線で損傷されるのは眼の表層（角膜）。生体を透過しない紫外線の物理量は、ジュール/kgではなくジュール/m<sup>2</sup>で表す。

問6、放射能（Radioactivity）の量はベクレル(=decay per second)で表す。ベクレルを正しく説明しているものは次のうちどれか。正しい選択肢を1つ選べ。

1. 放射性同位元素が単位時間あたりに崩壊する回数に放射線の線質係数をかけたものである
2.  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 線を放出する核種すべての放射能を表現するのに用いる
3. 放射線の種類( $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 線)と人体に与えられる影響を加味している
4. ガイガーカウンターや液体シンチレーションカウンターなどの放射線検出器を用いて単位時間あたり検出した放射線量

解答：2 解説：ベクレルとは放射性同位元素が単位時間（1秒）あたりに崩壊する回数（decay per second）であり核種は問わない。シーベルトは放射線の健康影響を加味した単位であり、吸収線量に放射線荷重係数、組織荷重係数をかけることにより算出される。4の説明は測定量であるのに対してベクレルは物理量。測定量（count per second）＝物理量（decay per second）×測定効率（%）。

問7、電離放射線の物理量について正しく説明しているものは次のうちどれか。正しい選択肢を全部選べ。

1. 医療では、すべての種類の電離放射線の線量を表現するのに統一した単位が使われる
2. 電離放射線の中で電離放射線の中で医療に使われるX線のみ、線量等量（シーベルト）の単位も使用する
3. 吸収線量とは、単位質量の物質に電離放射線を照射して吸収されるエネルギー量であり、放射線の種類によらずその単位はグレイ（ジュール/kg）である
4. 放射線検出器で単位時間あたり検出した放射線量

解答：1, 3 解説：すべての電離放射線の量は同じ単位（吸収線量：ジュール/kgもしくは線量等量）で表す。

問8、次の壊変式のうち間違っているものを1つ選べ。

## ブラッグピーク



解答：(3) 解説： $\alpha$ 崩壊は、He核が飛び出すので220→222が正しい。

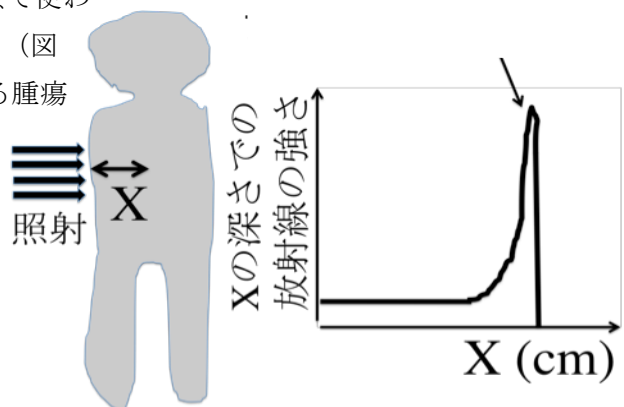
問9、医療では診療用放射線のリスクを患者さんに説明する時には、線量等量 (dose equivalent) で放射線の物理量を表し、その単位はシーベルトである。シーベルトについて正しい答えを1つ選べ。

1. X線や重粒子線を体外から照射した場合の被曝量を表すのには使えるが、身体に入ったラジオアイソトープから出る放射線からの被曝量を表すのには使えない
2. 放射線に被曝した組織の急性障害のリスクに比例するが、発がんリスクには必ずしも比例しない
3. 吸収線量に、放射線の性質による生物学的な影響の強さ(線質係数)をかけた値が線量等量である
4. X線の場合には吸収線量＝線量等量であるが、飛跡にそって密に電離する重粒子の場合には吸収線量>線量等量である

解答：3 解説：1. 外部、内部被ばくいずれにも線量等量は使用できる。2. 比例する。4. 吸収線量<線量等量である。

問10、外部照射による悪性腫瘍の放射線治療で使わ

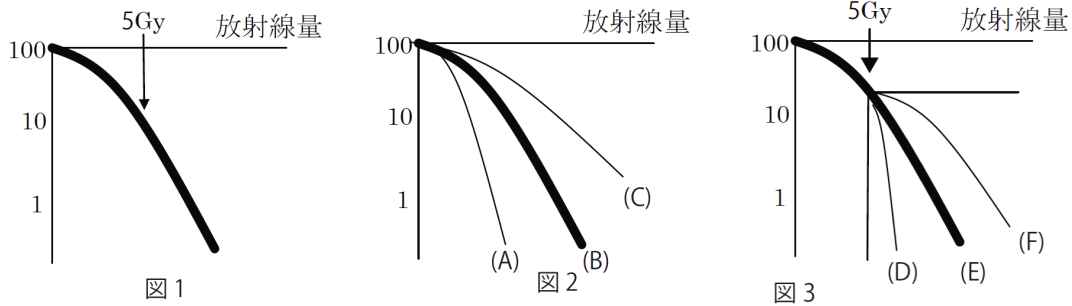
れる、ある種の放射線はブラッグピーク(図参照)を作り効率よく体内の深部にある腫瘍組織を狙い撃ちできる。次の選択肢のうちブラッグピークを作る放射線はどれか。適切な選択肢を全部選べ。



1. 陽子線
2. 電子線( $\beta$ 線)
3.  $\gamma$ 線
4. 炭素イオン線
5. 中性子線

解答：1, 4 解説：電荷をもつ粒子線である陽子線、重イオン線(炭素イオン線)は、速度が停止する直前に物質に与えるエネルギーが最大になる(ブラッグピークという)。従って、腫瘍組織の位置をブラッグピークに合わせることで正常組織への影響を抑えることができる。

問 1 1、倍加時間 24 時間の培養細胞に低 LET (Linear Energy Transfer) 放射線を照射したあと生き残って分裂する細胞の割合を調べた。横軸を線量、縦軸を生存率(対数)としてプロットすると図 1 のような曲線になる。



- (i) 高 LET 放射線を照射した場合、図 2 のうちどの生存曲線になるか、(A), (B), (C)の中から選べ。
- (ii) 5Gy 照射後、24 時間間隔をあけたのち、再度、同じ低 LET 放射線を照射した場合、(D), (E), (F)のグラフのうちどのグラフになるか。

解答：(i) (A)、(ii) (F)、 解説：(i) エネルギーが強い高 LET 放射線ほど、生物効果が高い（細胞はより多く死ぬ）ので傾きは大きくなる。(ii) 24 時間の間に損傷を受けた DNA はほぼ完全に修復されるため二回目の照射後、図 1 と同じ肩を持つ曲線を描く。

問 1 2、免疫の実験では、抗原刺激を受けて活性化されたリンパ細胞が分裂を開始することを測定することによって、活性化を評価する。細胞分裂を検出するのに、リンパ細胞の中に取り込まれたラジオアイソトープの量を測定する。この実験の為に、どの化学物質をラジオアイソトープラベルして培養液に加えるのが適切か？正しい答えを 1 つ選べ。ヒント：取り込まれたラジオアイソトープが分裂した娘細胞に安定に保持された場合にのみ細胞分裂が正確に定量できる。

1.  $^{32}\text{P}$ -ATP
2.  $^{14}\text{C}$ -グルコース
3.  $^{32}\text{P}$ -ウリジン
4.  $^{11}\text{C}$ -メチオニン
5.  $^3\text{H}$ -チミジン

解答：5 解説：チミジンは DNA に複製中に直接取り込まれるため、チミジンに共有結合したラジオアイソトープは娘細胞の染色体 DNA に安定に維持される。ATP は電荷があるから細胞膜を通過できない。よってラジオアイソトープラベルした dATP や ATP は使えない。

問 1 3、同じ細胞数を殺傷する量の紫外線と電離放射線の DNA 損傷の種類について正しいものを 1 つ選べ。

1. 紫外線の方が、染色体転座が起こる率が高い
2. 電離放射線の方が、より多くの塩基間架橋(ピリミジンダイマーなど)を作る
3. 紫外線と電離放射線が引き起こす DNA 損傷の種類はほぼ同じである

4. 細胞を 50%殺す線量を照射したときに、紫外線の方が電離放射線よりゲノムへの点変異誘導率はるかに高い

解答：4 解説：紫外線照射は、大量の数の DNA 損傷がおこってもなかなか細胞を殺さない故に変異を誘導しやすい。すなわち、紫外線照射により大量にできるピリミジンダイマーや 64 光産物が修復されずに DNA 複製されたときに変異が蓄積する（損傷乗越え）。電離放射線では二重鎖切断が誘導されるため、染色体転座、逆位、欠失が起こりやすい。

問 1 4、電離放射線による DNA 損傷に関する記述で正しいものを 1 つ選べ。

1. 電離放射線照射によって、ミトコンドリア DNA 損傷が起きることが細胞死の主たる原因である
2. 電離放射線は、アポトーシスの原因にはなるが染色体転座の原因にはならない
3. DNA 2 重鎖切断が起こる頻度の方が、1 重鎖切断が起こる頻度より多い
4. 電離放射線は、ゲノム DNA だけでなくタンパク質、脂質 2 重膜を損傷する

解答：4 解説：1. ミトコンドリアではなく核の染色体 DNA への損傷が原因である。2. 1 本鎖 DNA 切断が引き起こされる頻度は、2 本鎖切断より高い。3. 2 重鎖切断は、アポトーシスの原因になるだけでなく染色体転座（不正確な修復による）とそれによる発がんの原因にもなる。タンパク質、脂質 2 重膜を損傷するが、その生物効果は、DNA 損傷による生物効果に比べると極わずかである。

問 1 5、電離放射線による DNA 損傷の修復に関する次の記述のうち正しいものを 2 つ選べ

1. DNA 2 重鎖切断は、DNA 1 本鎖切断に比べて修復されやすい
2. DNA 2 重鎖切断の修復に、相同組換えは関与しない
3. 塩基除去修復が電離放射線による塩基損傷を修復する
4. DNA 2 重鎖切断は、非相同末端結合により修復される

解答：3, 4 解説：2 重鎖切断は損傷の中で最も危険なものであり非相同末端結合あるいは相同組換えによって修復される。塩基除去修復では、DNA 鎖内に生じた塩基損傷を塩基除去修復、ヌクレアーゼが認識、除去し、DNA 合成により修復される。ヌクレオチド除去修復では、シスプラチンや紫外線によって生じる塩基間架橋の除去に機能する。

問 1 6、次の遺伝性疾患のうち X 線に対して高い致死感受性を示すものを 2 つ選べ。

1. ダウン症
2. ブルーム症候群
3. 色素性乾皮症
4. コケイン症候群
5. 毛細血管拡張性運動失調症

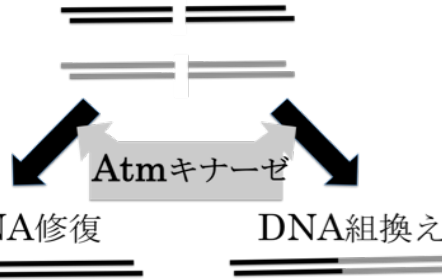
解答：2, 5 解説：ブルーム症候群では、相同組換えによる 2 重鎖切断の修復が不正確で効率が低い。毛細血管拡張性運動失調症では、DNA 2 重鎖切断がおこっても細胞分裂が一時停止しない。

問 1 7、次の遺伝性疾患のうち紫外線に対して最も高い致死感受性を示すものを 2 つ選べ。

1. ダウン症

## 2カ所の2重鎖DNA切断

2. ブルーム症候群
3. 色素性乾皮症
4. コケイン症候群
5. 毛細血管拡張性運動失調症



解答：3, 4

問18、毛細血管拡張性運動失調症に関する次の記述のうち、間違っている選択肢を1つ選べ。

1. 小脳性の運動失調がおこる
2. 高発がん性を示す
3. V(D)J組換えの効率が低下する
4. 電離放射線に対して細胞が感受性である（死にやすい）
5. 2重鎖切断が発生したときに、細胞周期を正常に停止できる

解答：5 解説：毛細血管拡張性運動失調症の原因遺伝子である ATM キナーゼは2重鎖切断の認識とその後のシグナル伝達(他の分子のリン酸化)に関与する。毛細血管拡張性運動失調症由来の細胞では、2重鎖切断が適切に認識されないため細胞周期停止が起こらない。そのため2重鎖切断修復や正確な DNA 組換え（抗原受容体遺伝子のV(D)J組換えや減数分裂時の相同組換え）の効率が大きく落ちる。そして染色体転座が起こる結果、リンパ系の白血病が起こる。

問19、文章を読み A, B, C, D, E, F, G に当てはまるものをそれぞれ1つ選べ。

ジャン・ベルゴニエとルイ・トリボンドーは、ラットの雄の生殖細胞に放射線を照射した結果、A→B→C→Dの順で放射線の感受性が高いことを発見した。その実験結果から、細胞分裂の頻度がEのものほど、また将来細胞分裂の数がFのものほど、形態・機能がGなものほど放射線感受性が高いと結論づけた。この法則をベルゴニ・トリボンドーの法則という。

A～Dの選択肢

1. 精母細胞
2. 精子
3. 精細胞
4. 精原細胞

Eの選択肢

1. 高い
2. 低い

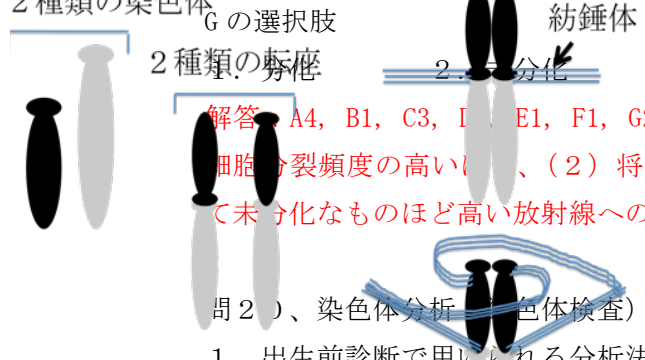
Fの選択肢

1. 多い
2. 少ない



短腕の短い  
2種類の染色体

M期の染色体分配



解答：A4, B1, C3, D1, E1, F1, G2 解説：ベルゴニエ・トリボンドーの法則では（1）細胞分裂頻度の高いほど、（2）将来の分裂回数の多いものほど、（3）形態や機能において未分化なものほど高い放射線への感受性を示す。

問20、染色体分析（染色体検査）について間違った記述を2つ選べ。

1. 出生前診断で用いられる分析法の一つである

紡錘体が結合する動原体放射線に全く先被曝した患者の被曝量推定には適していない

所あると、染色体分析は末梢血リンパ球に存在する増殖因子存在下に培養し、M期の細胞の染色体を形態観察する

4. 血液幹細胞ががん化する慢性骨髄性白血病の診断に非常に有効である

5. 放射線治療の副作用を予測するのに有効である

解答：2, 5 解説：染色体異常誘発頻度は、被曝した線量依存性がある。そのため染色体分析は、被ばく量の推定に最も高感度かつ信頼性が高い。放射線治療は、局所的に照射するので、末梢血リンパ細胞の染色体断裂はごく稀である。

問21、ダウン症（第21染色体トリソミー）について間違った記述はどれか。2つ選べ。

1. 心臓奇形、知的発達の遅れ、臍帯ヘルニアをしばしば伴う

2. ダウン症発症は、卵形成過程の極体形成に関係がある

3. 受精後ごく初期の染色体分配が正常に起こらないことによっても発症しうる

4. 主な原因は、卵の減数分裂時の染色体の不分離である

5. 健常人の親から遺伝するタイプのダウン症はない

6. 第21番染色体以外にもトリソミー発症がおこるが、ほとんどの場合、胎生致死である

解答：2, 5 解説：5. 第21染色体と他の染色体（例、第14染色体）とが融合した染色体を持つダウン症の保因者がいる。保因者は、融合染色体と正常な第14染色体と第21染色体とを1本ずつ持つ。この保因者から融合染色体を受継いだ子供がダウン症を発症する。保因者短腕が短い2本の染色体の短腕同士が融合しても、細胞分裂の時に融合染色体は娘細胞に正確に分配される（図参照、右上の染色体分配）。

2. 卵発生の過程で、一つの二倍体細胞から一つの成熟卵子と3つの極体が形成される。極体がダウン症に関係しているという報告はない。

問22、減数分裂について、間違った選択肢を1つ選べ。

1. 第二減数分裂のときに、相同染色体間の相同組換えが起こる
2. 二倍体細胞が減数分裂によって一倍体（半数体）の配偶子を形成する理由は、DNA複製を経た後に二度の染色体分配が細胞質分裂を伴わず起こるからである
3. ヒトの卵形成に伴う減数分裂において、年齢とともに染色体の不分離（Non-disjunction, 染色体分配の異常）が起こる頻度が高くなる（その結果、生じた卵の染色体数は23本でなくなる）
4. 母親の胎内において、卵形成（原始卵胞）は行われ第一減数分裂期途中で細胞周期を停止させている
5. 減数分裂では、2本の相同染色体の分配（Segregation）は、各染色体毎に全くランダムに起こる

解答：1 解説：第一減数分裂のときに相同染色体間の組換え（交差）が起こる。

問23、損傷チェックポイント機構の記述で正しいものを2つ選べ。

1. 損傷チェックポイントが活性化されると、SからG2に移行する段階で細胞分裂が一時停止する
2. 損傷チェックポイント機構はDNA損傷が無くても恒常的に活性化している
3. 損傷チェックポイント機構の活性化には、様々なリン酸化酵素（キナーゼ）が関与する
4. 損傷チェックポイント機構は、発がんを抑制する
5. 損傷チェックポイント機構は、DNA損傷があると、M期からG1期への移行を抑制する

解答：3, 4 解説：チェックポイントの概念は、染色体あるいは核内に異常が起こった時のみ活性化し、細胞増殖を一時停止させ、その間に修復を行う時間を作ることである。その際にATMといったキナーゼが基質のリン酸化に関与する。修復不可能である場合は、チェックポイントに関わる因子がアポトーシスの経路を活性化する。損傷チェックポイントが機能低下すると、DNA損傷が発生してもその細胞が個体から効果的に排除されなくなる結果、発がんの原因になる。

問24、損傷チェックポイント機構の記述で間違っている選択肢を1つ選べ。

1. ヒトで見つかる半分以上の悪性腫瘍は、損傷チェックポイントの機能が低下している
2. p53蛋白質はがん抑制遺伝子であり、DNA損傷後にその機能が抑制される
3. 毛細血管拡張性運動失調症の病因は、損傷チェックポイントの機能低下である
4. 放射線治療の原理は、損傷チェックポイントの活性化による細胞自殺の誘導である
5. 損傷チェックポイント機能が低下していると、変異が蓄積されやすい

解答：2 解説：p53はがん抑制遺伝子の代表であり、その機能低下・欠損が発がんの原因になる。『p53蛋白質はがん抑制遺伝子であり、DNA損傷後に活性化される』であれば正しい。

問25、細胞の死には、自殺（apoptosis）と”他殺”（necrosis; 細胞の内容物が周囲に漏出することによって、腫れと痛みを伴う炎症反応がおこる）とがある。次の選択肢の中で、他殺による細胞死を1つ選択せよ。



1. DNA 損傷チェックポイントの活性化による細胞死
2. 脳血管の閉塞による神経細胞の死
3. 放射線照射されたリンパ球の死
4. 培養細胞の培養液から増殖・生存因子を除去した場合におこる細胞死
5. シスプラチンによるがん細胞の死

解答：2 解説：多細胞生物は、栄養のみならず、生存因子が生存に必須。生存因子が十分ないとアポトーシスプログラムがすみやかに起動される。

問26、複製ポリメラーゼのエラー率は $10^{-6}$ /塩基であるが、間違っ取り込まれた塩基をミスマッチ修復経路が修正する結果、最終的な、DNA複製のエラー率は複製あたり約 $10^{-8}$ /塩基である。ミスマッチ修復について正しいものを2つ選べ。

1. ミスマッチ修復の異常は大腸がんの原因になる
2. ミスマッチ修復欠損は、変異率を100倍上げるが、老化促進効果はない
3. ミスマッチ修復欠損は、中枢神経の変性疾患の原因になる
4. ミスマッチ修復は、ピリミジン二量体の除去も行える

解答：1, 2 解説：2. 変異率を100倍上げるが、老化は促進しないし、3. 神経変性疾患の原因にはならない。4. ヌクレオチド除去修復の事である。

問27、DNA複製に関与するDNA合成酵素（DNAポリメラーゼ）は、通常のDNA複製ポリメラーゼの他に10種類近い損傷乗り越えDNAポリメラーゼがある。正しいものを2つ選べ。

1. 通常のDNA複製ポリメラーゼがDNA合成中に損傷鋳型鎖に出くわすと、そのDNA合成がより活性化（促進）される
2. 損傷乗り越えDNAポリメラーゼは正確さ（fidelity）が低い
3. 損傷乗り越えDNAポリメラーゼが十分機能しないと、紫外線やシスプラチンに暴露された細胞が死にやすくなる
4. 損傷乗り越えDNAポリメラーゼは、ヌクレオチド除去修復に働く

解答：2, 3 解説：1. 通常のDNA複製ポリメラーゼによるDNA合成が停止し、その停止を解除する為に損傷乗り越えがはたらく。4. 損傷乗り越えは、紫外線損傷を除去（修復）する経路ではなく、DNA複製ポリメラーゼが複製停止したときに、その停止を解除する役割をもつ。

問28、突然変異と遺伝子DNAの変化について考える。正しいものを2つ選べ。

1. 塩基が他の塩基に置き換わった場合、遺伝子のアミノ酸配列は必ず変化する
2. 塩基が他の塩基に置き換わった場合、タンパク合成が途中で止まる原因になることがある
3. 塩基が3の倍数以外の数で挿入または欠失するとフレームシフトの原因になる
4. 脱塩基、酸化損傷など塩基損傷は、突然変異の原因にはならない

解答：2, 3 解説：塩基が変化してもアミノ酸配列が変化しないことがある（サイレント変異）。例AAA（リジン）→AAG（リジン）。2. 変異の結果が終止コドンとなった場合（ナンセンス変異）。4. 脱塩基、酸化損傷などがある鋳型鎖を使って、DNA複製時に損傷乗り

越え DNA ポリメラーゼが DNA 合成する際に点変異の原因になる。

問 29、電離放射線に対する感受性は臓器・組織によって大きく異なる。選択肢は、感受性が高い（放射線照射によって死にやすい）順に臓器・組織を並べた。正しい選択肢を全部選択せよ。

1. 肝細胞 > 小腸上皮 > 筋肉組織
2. 網膜 > 眼の角膜の毛細血管 > 眼のレンズ
3. 造血細胞（骨髄） > 皮膚 > 心筋
4. 卵子 > 末梢神経 > リンパ節
5. 腎臓 > 皮膚 > 中枢神経

解答：3 解説：以下の順番であれば正解：

小腸上皮 > 肝細胞 > 筋肉組織

眼のレンズ > 眼の角膜の毛細血管 > 網膜

卵子 > リンパ節 > 末梢神経

皮膚 > 腎臓 > 中枢神経

神経、筋肉、実質臓器（肺、肝臓、腎臓）は放射線に耐性である。休止期にあつて例外的に放射線感受性なのは卵子とリンパ細胞。

問 30、骨髄死の原因となる被曝量で全身被曝後、急性期において間違つた記述を 2 つ選べ。

1. 骨髄移植は治療に有効ではない
2. 造血機能障害による出血、感染により死に至る
3. 被曝後、1-2 日でリンパの減少がおこる
4. 被曝 1-2 時間後に嘔吐の症状が出現することはほとんどない
5. 全身被曝後、3 日から 1 週間後まではめだつた自覚症状がない

解答：1, 4 解説：シラバス p93 の 23 番と 24 番参照。骨髄死は 2-10Gy の被曝でおこる。骨髄の造血機能障害により死にいたるが、骨髄移植（骨髄細胞の静脈注射）により治療可能である。リンパ細胞は分裂しない場合でも放射線感受性が非常に高く、被曝後に末梢血液中のリンパ細胞数がすぐに減る。分化した血液細胞はリンパ球を除いて、放射線に耐性であり、その分化細胞本来の寿命が尽きるまで（3 日から 1 週間後まで）自覚症状は出ない。

問 31、全身に急性放射線被曝した場合の、腸死、骨髄死、中枢神経死について間違つた記述を 1 つ選べ。

1. 4-5 シーベルト X 線を全身被曝すると、治療をしない場合に半分の被曝者が死ぬが、その原因は骨髄死である
2. 腸死は 10 シーベルト以上の X 線の全身被曝で起こり、数日以内に激的な症状が出現する
3. 中枢神経死は 100 シーベルト以上の被曝で起こり、痙攣によって約 1 週間後に死亡する
4. 骨髄死では、被曝後生き残つた造血幹細胞が増殖を始め造血機能が回復するのに約 2 ヶ月かかる

解答：3 解説：放射線照射は分化した血球細胞の生存や寿命にあまり影響しないので、そ

これらの細胞の寿命（血小板は約3週間）までは骨髄死による症状が全く出現しない。中枢神経死の痙攣は、被爆後1日以内に発症し、死亡する。

問3 2、全身被曝6時間後、被曝線量を推定する指標として適切なものを3つ選べ。

1. 末梢血のリンパ細胞の数
2. 末梢血の血小板の数
3. 染色体分析による異常染色体のカウント
4. 体温
5. 被爆から嘔吐症状が出現するまでの時間

解答：1, 3, 5 解説：1. 末梢血中リンパ細胞の数(及び減少度)、4. リンパ細胞の異常染色体数、5. 嘔吐症状出現までの時間の3つは被曝線量とよく相関するため、被曝線量推定のゴールドスタンダードとなっている。(次表参照: Ann Int Med 2004; 140:1039 より引用)

Dose (Gy)	Time to vomiting (hours)	Lymphocyte fall rate constant	Lymphocyte dicentrics (per 1000)
0	-	-	1-2
1	-	0.126	88
2	4.6	0.252	234
3	2.6	0.378	439
4	1.7	0.504	703
5	1.3	0.63	1000
6	1.0	0.756	
7	0.8	0.881	
8	0.7	1.01	
9	0.6	1.13	
10	0.5	1.26	

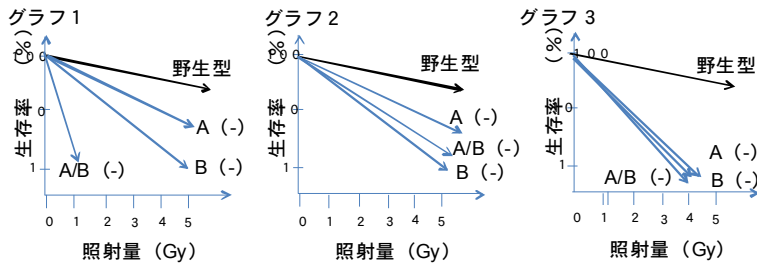
問3 3、我々は自然放射線、自然界に存在するラジオアイソトープ、健診の時のX線などから被曝している。日本人の平均被曝量（1年当たり）で最も近い選択肢を選べ。

1. 4 マイクロシーベルト
2. 0.04 ミリシーベルト
3. 0.4 ミリシーベルト
4. 4 ミリシーベルト
5. 40 ミリシーベルト

解答：4 解説：うち半分は医療被曝による。

問3 4、放射線によって生じるDNAの傷を修復する経路は、複数あることが知られている。遺伝子AとBが独立した修復経路で働いているとき、大腸菌においてA変異株(A(-))、B変異株(B(-))及びAとB二重変異株(A/B(-))の放射線への感受性は野生型と比べてどのようになると予想されるか。以下の1-3のグラフより最も

適当なものを1つ選べ。ただし、各々完全機能欠損型の変異が生じているとする。



解答：1 解説：Aの変異株とBの変異株との相加効果がA/Bの二重変異体で表されている。

問35、世界には自然放射線レベルが高い地域(20-100ミリシーベルト/年)が存在する。

これを高バックグラウンド地域というが、次の記述のうち、正しいものの組み合わせはどれか。

- A. がん死亡率が有意に高い
  - B. 遺伝性疾患の発生率が有意に高い
  - C. 小児の皮膚がんが多発している
  - D. 白血病の発生率が有意に高い
1. ABCのみ
  2. ABのみ
  3. CDのみ
  4. BCのみ
  5. なし(すべて間違い)

解答：5 解説：高バックグラウンド地域において、遺伝性疾患、がんの発生率、死亡率ともに他の正常地域に比べて有意な差はみられていない。

問36、アイソトープ実験を行う際には、実験者が放射線から被曝することを最小限にする必要がある。外部被曝から防護するために注意すべき三原則を述べよ。(ひらがな可)

解答：時間短縮、距離の確保、遮蔽

問37、放射線治療について、正しいものを2つ選べ。

1. 大量の放射線照射が、がん細胞の増殖に必須の遺伝子を多種類破壊することで、がん細胞の増殖を抑制する
2. DNAを損傷させ、チェックポイントを活性化させることでがん細胞を殺している
3. チェックポイント機構に異常がある場合、放射線により変異や染色体異常が高頻度に誘導される
4. チェックポイントの機能低下がある悪性腫瘍は放射線治療の適応でない

解答：2, 3 解説：1. 破壊される場所に関係なく、DNAの損傷によりチェックポイントの活性化とそれに続く細胞死が誘導される。4. ガン細胞にはほぼ例外なくなんらかの、チェックポイントが機能不全の状態にある。シラバス52や61ページ31番を参照のこと。

問38、放射線による、がん治療をより効果的にするための方法として、正しいものを2

つ選べ。

1. 低 LET 放射線（ガンマ線、X 線など）を使用する際は、がん組織の酸素濃度が低いほど効果が高い
2. 低 LET 放射線（ガンマ線、X 線など）を使用する際は、分割して（数回に分けて）照射する方法が一般的である
3. 高 LET 放射線（プロトン、重陽子など）の発生には特殊な加速器を必要とするので、使用できる施設は限られている
4. 照射された高 LET 放射線（プロトン、重陽子など）は、そのほとんどが躯幹（胴体）を貫通する

解答：2, 3 解説：1. 酸素効果により、酸素濃度が高いほど間接作用による DNA 損傷が期待できる。4. 高 LET 放射線（プロトン、重陽子など）は、体内の一定の深さで急速に減速し、一気にエネルギーを放出し、ガン細胞に損傷を与える。シラバス p110、p111 参照。

問 39、放射線治療についての次の記述のうち、間違っているものを 2 つ選べ。

1. がんの放射線治療は、化学療法と併用する事は通常ない
2. 副作用を防ぐため、周囲の正常組織の被爆量をミニマムにすることが重要である
3. 放射線治療によって、二次的（続発的）にガンを発症する事がある
4. 放射線治療は外科手術ができない場合に選択される

解答：1, 4 解説：1. 併用がほとんどである。4. 放射線治療も早期に発見した悪性腫瘍が適応であり、その治療成績が外科手術と遜色がない。

問 40、細胞分裂の休止期にあっても、放射線照射によって最も死にやすい細胞を 2 つ選択せよ。

1. 卵子
2. リンパ細胞
3. 網膜の神経細胞
4. 甲状腺
5. 精子

解答：1, 2 解説：間期死という現象。シラバス p109 参照。

問 41、妊娠中の 0.1Gy 以上の被爆による胎児への影響について、正しいものを 2 つ選べ。

1. 妊娠 0-2 週の被爆では、生まれてくる子供への影響はほとんどない
2. 妊娠 3-7 週の被爆（器官形成期）では、奇形発生率が上昇する
3. 妊娠 3-7 週の被爆（器官形成期）では、新生児死亡率は変わらない
4. 妊娠 8-15 週では、生まれてくる子供への影響はほとんどない

解答：1, 2 解説：1. 着床前の胚が被爆した場合、胚死となるか正常に発達するか、どちらかとなる。なので、誕生してくる場合には被爆の影響は残っていない。3. 奇形の比率のみならず新生児死亡の比率も上昇する。4. 精神遅滞、白血病の増加がおこる。

問 42、放射線の人体への影響は確定的影響と確率的影響に分けられる。以下の中で、確率的影響について述べているものを 2 つ選べ。

1. 胎児被爆により、奇形が生じる
2. 全身被爆により、白血病のリスクが上昇する

3. 精巣への被曝により、永久不妊になる
4. 全身被曝により、リンパ球の一時的減少がおこる
5. 甲状腺への被曝により、数年～数十年経って甲状腺がんを発症する

解答：2, 5 解説：悪性腫瘍の発生はすべて確率的影響でおこる。

問43、被曝の影響は、急性におこるものと、数年～数十年経って症状としてあらわれるもの（晩発性障害）がある。以下の中から、晩発性障害を2つ選べ。

1. 肝炎
2. 白内障
3. 白血病
4. 肺炎
5. 全身倦怠感

解答：2, 3 解説：白内障と各種の悪性腫瘍は発症するまでに時間を要する。シラバス p94 参照。

問44、被曝の身体影響について正しい答えを1つ選べ。

1. 原子力発電所から漏洩したヨードに大人が内部被曝したときに10年ほどの潜伏期を経て甲状腺がんが発生する
2. 10ミリシーベルト/年の内部被曝が5年続くと、発がん率が増加したという疫学データがある
3. 子供の医療被曝の場合には、合計10ミリシーベルトの全身被曝で発がん率が増加したという疫学データがある
4. 原爆による男性被曝者から産まれた子供は遺伝病の比率が対照に比べて高いという疫学データがある
5. 原爆被曝者は、100ミリシーベルト以上の被曝の場合には被曝量に比例して発がん率が増加した

解答：5 解説：1. 内部被曝したのが子供であれば、甲状腺がんが増加したというチェルノブイリの疫学データがある。

2. 100ミリシーベルト以下の急性被曝によって発がんが増加したというデータはない。慢性被曝の場合（例、アイソトープの内部被曝）には、急性被曝に比べて発がん性が小さい。

4. 動物実験の結果と異なり、生殖細胞が被曝しても、次世代への遺伝的影響が出現したという疫学データは得られなかった。動物実験の結果と異なるのか不明。