

## 試験解答

(1) 電離作用のある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

(2) 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

(3) 1秒間に崩壊する原子核の放射線量を示す単位はどれか。

1. ベクレル、2. シーベルト、3. ジュール、4. eV(エレクトロンボルト)

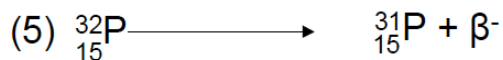
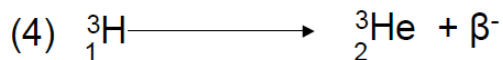
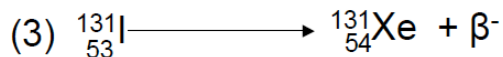
(解答) 1

(4) 電離放射線について、次の記述が正しいかどうか○×で答えなさい。

1.  $\alpha$ 線は、ジグザグ運動する。
2.  $\beta$ 線は、ある一定以上の距離を飛ばない。
3.  $\beta$ 線は、ジグザグ運動する。
4.  $\gamma$ 線は、直進する。
5. 放射線治療に用いられる電離放射線は、主にX線と重陽子線である。

(解答) (1)×、(2)○、(3)○、(4)○、(5)○、透過力が強く直進するので、深部の狙った場所に吸収エネルギーを集中できる。

(5) 次の崩壊式の中で間違っているものを一つ選べ。



(解答)  $\beta$ 崩壊は、陽子が中性子に変化するため質量数の変化はない。従って、間違いは、(5)である。 $\alpha$ 線核種は、ヘリウム核(質量数 4、陽子数 2)が飛び出るためラジウムは、ラドンに変化する。

(6) 電離放射線の生体への影響を調べるために、ある単位が使用されている。その単位は次のうちどれか。

1. eV/m 2. eV 3. J/m 4. J/m<sup>2</sup> 5. Count per second 6. J/kg

(解答) 6

(7)  $\gamma$ 線、 $\beta$ 線、 $\alpha$ 線、中性子線の物質への透過力は、エネルギー付与率に依存する。エネルギー付与率とは、放射線が物質を透過するときに単位長さあたりをすすむときに失うエネルギーをいう。次の記述が正しいかどうかを○×で答えなさい。

1. 電荷をもち運動エネルギーの大きい $\alpha$ 線は、エネルギー付与率が大きい。
2. 電荷をもつが運動エネルギーの小さい $\beta$ 線は、 $\alpha$ 線ほどエネルギー付与率が大きくない。
3. 電磁波である $\gamma$ 線は、エネルギー付与率が小さく透過力が強い。
4. 一般にエネルギー付与率が大きいほど、透過力が大きい。
5. 4種類の放射線に関して、同じ吸収線量でも、エネルギー付与率が大きいほど、細胞に与える障害は大きい。

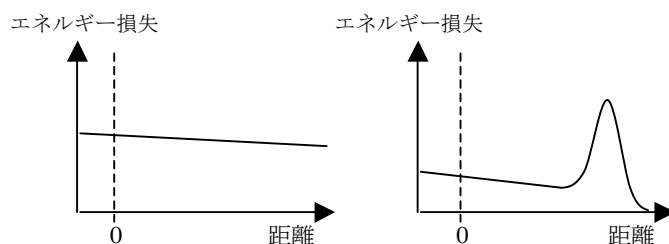
(解答) (1)○、(2)○、(3)○、(4)×、(5)○

(8) 免疫学の分野では、特定の分子を標識しその動態を調べる実験がよくおこなわれる。抗原刺激を受けて増殖したリンパ球数を調べるために、リンパ球のDNA合成量を測定する。その時に用いられる放射線核種を以下から一つ選べ

- 1, [3H]チミジン、2, [35S]メチオニン、3, [125I]ヨウ素、4, [ $\alpha$ -32P]dCTP

(解答) 1が正解、2の35Sは、蛋白質合成、3の125Iは、ラジオイムノアッセイ、4の $\alpha$ -32Pは、DNA配列決定に用いられる、またdCTPは、生きた細胞膜を通過できない(リン酸が負に電荷している)。

(9) 近年、がん治療に従来のX線を用いる以外に重陽子線治療が考えられている。重陽子線治療の利点は、がん組織に効率よく高エネルギーの放射線を照射できることにある。次の図は、横軸に身体表層(距離=0)からの距離、縦軸にエネルギー損失(放射線が組織と相互作用した結果、吸収されたエネルギー)をグラフにしたものである。それぞれX線、重陽子線に相当するグラフを選べ。



(解答) 左から X 線、重陽子線、(X 線や $\gamma$ 線を体外から照射すると、体表面で最も線量が大きく、深さとともに線量が減衰するため、正常組織へのダメージが大きい。重陽子線では重陽子の飛程の終端でエネルギーを放出するため線量を調節することによりがん組織への効率よい照射が可能となる)

(10) 原子力発電所より漏れた放射性同位元素のリスクについて、間違った記述を1つ選べ。

1. ヨードは、甲状腺に蓄積し、とくに高齢者において発がんのリスクを大きく高める。
2. 揮発性の高い放射性同位元素は、そうでないものより危険である。
3.  $\alpha$ 線を放出する放射性同位元素は、外部被曝については心配ないが、内部被曝(放射性同位元素が身体に取り込まれた後の被曝)はたいへん危険である。
4. 内部被曝について、 $\gamma$ 線を放出する放射性同位元素は、透過力が高いので、 $\beta$ 線を放出する放射性同位元素よりも、一般に、リスクが小さい。
5. 身体に取り込まれた後、排出されにくい放射性同位元素は、排出されやすいものより危険である。

(解答) (1)間違い、ヨードから放出される放射線が危険なのは、甲状腺の細胞が増殖している20歳までの子供のみ。揮発性の高い放射性同位元素(ヨードやストロンチウム)は、呼吸によって肺に取り込まれるので危険。 $\beta$ 線は透過力が弱い故に、そのエネルギーが全部骨に取り込まれる。放射性同位元素のうち、ストロンチウム90(カルシウムと同じ2価の陽イオン)がセシウム137よりも危険な理由は、ストロンチウムがなかなか骨から排出されないことによる。

(11) 電離放射線により生じる DNA への損傷について正しいものを一つ選べ。

1. DNA 損傷には、一本鎖、二本鎖切断、塩基損傷がある。
2. 電離放射線を受けた細胞が死ぬ主たる原因は、ミトコンドリア DNA の損傷が原因のアポトーシスである。
3. 一本鎖切断は、二本鎖切断に比べて修復されにくい。
4. ピリミジンダイマー(隣り合うチミンが架橋される)が形成されることがある。
5. 鎖間共有結合がしばしば形成される。

(解答) (1)○、(2)ミトコンドリアではなく核 DNA への傷が原因である、(3)一本鎖切断は切断場所を穴埋めすればいいだけなので、二本鎖切断より修復しやすい、(4)ピリミジンダイマーは、紫外線(非電離放射線)によりできる損傷である。(5)抗がん剤、シスプラチンが作る DNA 損傷。

(12) 電離放射線が細胞に照射されると DNA への損傷が直接作用と、間接作用により引

き起こされる。間接作用についての記述のうち正しいものを 2つ 選べ。

1. エネルギー付与率(Linear energy transfer)が低い電離放射線は、高い電離放射線に比べて、間接作用による DNA 損傷の割合が小さい。
2. 間接作用とは、DNA から RNA への合成が低下することによる。
3. 放射線が、生体内の水分子を励起し、生成したラジカルが DNA 分子を酸化することがある。
4. がん組織に X 線を照射した場合、がん組織内部は低酸素状態であることが多いため、その効果を十分に得られないことがある。

(解答) (1) 間接作用による DNA 損傷の割合が大きい正しい、(2) RNA 合成への作用は関係ない、(3) ○、間接作用とは、電離放射線照射により生成するヒドロキシルラジカルなどが DNA 分子を酸化してしまうことにより DNA 損傷を引き起こすことである、(4) ○、低酸素状態にある細胞に X 線を照射しても、(3)の原因により DNA 損傷が起こりにくい。

(13) 放射線の染色体への影響に関して正しいものを 2つ 選べ。

1. 遺伝子の突然点変異が起こると、染色体構造も変化するため染色体分析により検出することが可能である。
2. 電離放射線照射が原因で、通常、染色体数は変化せず、染色体断裂などの構造の異常が起こる。
3. 放射線被ばく量の推定をするため、リンパ球における染色体異常の頻度を観察することがある。
4. 染色体構造異常を持った細胞は、分裂を止めすぐに死んでしまうため、1週間以上たつと、染色体構造異常を検出することが困難である。

(解答) (1)  $10^6$  塩基オーダーの構造異常でないと、染色体の構造異常として検出できない(染色体の長さは約  $10^8$  塩基)、(2) ○、放射線では数の異常ではなく、通常、転座や欠失、逆位といった構造異常が起きる、(3) ○、あるしきい線量以上の被ばく量では、リンパ球の染色体異常頻度が増加するため被ばく量推定に用いられる、(4) 転座、欠失、逆位などの異常染色体の中には安定的に保持されるものもある。すぐに死んでしまうわけではない。

(14) 染色体 DNA に二重鎖切断が起こると、その大部分が元通りに修復される。DNA 修復に関して 間違えた記述を 1つ 選べ。

1.  $G_2$  期に DNA 二重鎖切断が起こると、切断していない方の姉妹染色体分体を鋳型として修復されることがある。これを組換え修復という。
2. 塩基が損傷された場合には、損傷部の塩基配列周辺が除去され、相補鎖を鋳型として DNA が合成される。これを塩基除去修復という。

3. DNA 二重鎖切断が起こった部位が、そのまま再結合される修復機構(非相同末端結合)が起きる。
4. 組換え修復が欠損すると、免疫不全がおこる。
5. 放射線によって生じた多数の二重鎖切断が間違っ修復されると、染色体転座がおこる。

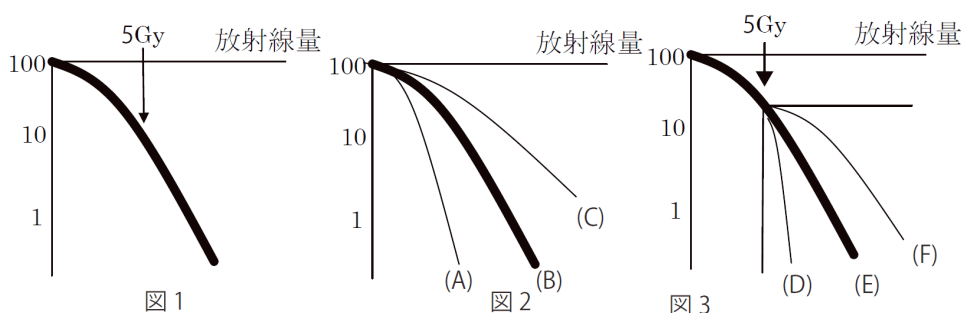
(解答) (4)組換え修復ではなく、非相同末端結合が欠損すると、V(D)J 組換え(相同組換えではない)が完了できなくなり、2重鎖切断が修復されない為、アポトーシスが起こることによる。DNA 末端を単純につなぎとめる非相同末端結合反応は、主要な DNA 損傷修復経路の一つである。非相同末端結合がまれに転座や欠失を引き起こす。一方、相同染色体を鋳型として使う組換え修復は正確性が高い。非相同末端結合修復は、細胞周期のすべてのフェーズにおいて起こるとされる。また塩基損傷などは、塩基除去修復機構によりなおされる。

(15) DNA 修復機構の異常にかかわる遺伝性疾患ではないものを1つ選べ。

1. 色素性乾皮症
2. ブルーム症候群
3. 毛細血管拡張性運動失調症
4. ターナー症候群

(解答) (1)-(3)までは、それぞれ原因遺伝子が同定された DNA 修復機構異常による遺伝性疾患、(4)正解、ターナー症候群は、XO 染色体をもつ女性(外性器のみ)のことを言う。

(16) 倍加時間 24 時間の培養細胞に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、下の図 1 のような曲線になる。



1. より強いエネルギー付与率 (Linear energy transfer) をもつ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。
2. 5Gy 照射後、10 時間間隔をあけたのち、再度放射線を照射した場合、図 3 の(D), (E), (F)のグラフのうちどのグラフになるか。

3. もし DNA 修復過程に欠損がある変異株を用いた場合、2 回目の照射後のグラフは(D), (E), (F)のどれになるか。

(解答) (1)エネルギー付与率が高い放射線ほど、細胞が多く死ぬので傾きは大きくなる。よって(A)、(2)10 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ため答えは(F)、(3)修復がなされないため 2 回目の照射後、(E)と同じ傾きで生存率が低下する。従って正解は(E)。

(17) ベルゴニエ・トリボンズの法則の記述として正しいものを一つ選べ。

1. 放射線感受性は、幹細胞より高度に分化した大脳新皮質細胞のほうが高い。
2. 精原細胞のような細胞は、放射線感受性が高い。
3. 小児、胎児は、発生分化を完了した成熟個体ととらえ、放射線感受性は、成人とほぼ変わらないと言われている。
4. ヒトにおいて、放射線による遺伝子突然変異が子孫に伝わる頻度は放射線量に比例する。

(解答) トリボンズの法則とは、細胞分裂の頻度が高いもの、将来行う細胞分裂の数が多きもの、未分化なものほど、放射線感受性が高いことをいう。従って精原細胞のような未分化で分裂が盛んな細胞は、放射線感受性が高い。(4)の放射線による変異が子孫に伝わるという疫学的なデータはない。正解は、(2)。

(18) チェックポイント機構の記述について正しいものを1つ選べ。

1. DNA 損傷チェックポイント機構が正常に働くと、たとえ DNA 損傷があっても細胞周期の遅延は起こらない。
2. DNA 修復の欠損と異なり、DNA 損傷チェックポイント機構が破綻しても、発がん率は上昇しない。
3. チェックポイント機構による細胞増殖停止は、不可逆的なものでありアポトーシスが誘導される。
4. 細胞周期  $G_1/S$  期境界、S 期、 $G_2/M$  期境界それぞれにチェックポイント機構があり、娘細胞への正確な遺伝情報伝達に寄与している。
5. 紡錘体チェックポイントは、多数の DNA 損傷がある染色体に紡錘体が結合して M 期が進行するのを防止する。

(解答) (1)チェックポイントが作動すると細胞周期、分裂遅延が観察される。(2) DNA 修復の欠損も、DNA 損傷チェックポイント機構の機能低下も、変異の蓄積を促進し、発がんの原因になる。(3)修復が完了すると可逆的に細胞周期が再度動き出す。アポトーシスが誘導されるのは、一定時間内に DNA 損傷が完全に修復されないことが引き金となる。(4)○ (正解)、 $G_1/S$  期境界、S、 $G_2/M$  期境界

クポイントは DNA 損傷の有無を調べる。(5) 紡錘体チェックポイントは紡錘体が染色体に正しく結合することをモニターし、娘細胞への均等な染色体分配を保証している。

(19) DNA 損傷チェックポイント欠損を示す疾患を一つ選べ。

1. ワーナー症候群
2. 色素性乾皮症
3. 毛細血管拡張性運動失調症
4. コケイン症候群

(解答) (3)、原因遺伝子は ATM であり DNA 損傷が起こったときにチェックポイント経路で中心的な役割を果たす。毛細血管拡張性運動失調症 ATM-/- の細胞は放射線に対して高い感受性を示す(細胞死を起こしやすい)。

(20) ダウン症(第 21 番染色体を 3 本持つ)について正しい記述を 2 つ選べ。

1. ダウン症は、胎児発生初期に染色体分配が正常に起こらずに発症することがある。
2. 減数分裂中に第 21 番染色体がトリソミーになる確率は、他の染色体がトリソミーになる確率に比べて圧倒的に高い。
3. ダウン症は、父親の年齢に伴い出生の確率が上がる。
4. ダウン症は、遺伝するタイプのものはない。
5. ダウン症は早期に診断し十分な教育を受けることができれば、日常生活を 1 人でおくれるようになる。

(解答) (1) 2 1 トリソミーの細胞と正常細胞とが混ざったキメラ状態になる。軽症。大部分のダウン症は卵の減数分裂時に染色体分配が正常に起こらなかったことが原因。(2)すべての染色体がトリソミーになる可能性があるが、ほとんどの場合胎生致死となる。現在のところ 13,18,21 染色体トリソミー症が、確認されている。(3)母親の年齢と相関する、40 歳でダウン症である確率は 1/40 とされている。(4)第 21 染色体が他の染色体と短腕端同士で結合した健常人(キャリア)から、ダウン症の子供が産まれることがある。すなわち遺伝するタイプのダウン症がある。正解は、(1)と(5)。

(21) 減数分裂期について間違っているものを一つ選べ。

1. 減数分裂期では母親と父親由来の染色体上の遺伝情報が混ざり合う(交叉する)が、その端緒となる反応は DNA 二重鎖切断である。
2. 第一減数分裂では、体細胞分裂と同様に、姉妹染色分体(複製の結果できた 2 本の染色体)が分離する。

3. ダウン症は、卵形成過程で、第一あるいは第二減数分裂期において正確な染色体分配が行われなかったことが原因で発症する。
  4. 精子形成過程の第一分裂で、XY 染色体は2本の相同染色体のように対合(お互いが寄りそう)する。
  5. 卵形成過程の第一減数分裂は、開始から完了までに10年以上の時間がかかる。
- (解答) (1)細胞が自らの染色体に傷(DNA二重鎖切断)を入れることで組換えが開始される。(2)間違い。第一減数分裂では、姉妹染色体ではなく、相同染色体が分離する。(3)ダウン症のほとんどは、母親由来の異数性が原因であることが分かっている。(4)X、Y染色体は一部に相同なDNA配列をもった領域がありその領域を用いて対合する。(5)卵形成過程の第一減数分裂は、生後すぐに開始され、排卵時に完了する。すなわち、体細胞分裂では30分ほどで完了するM期が、この第一減数分裂では10年以上時間がかかる。正解は(2)。

(22) 次の組織のうち10GyのX線による全身被曝を受けたときに、急性障害が発生するものを2つ選べ。ただし、5GyのX線全身被曝を受けると、治療を受けない場合に半分の人が死ぬ。

1. 肺
2. 小腸
3. 水晶体
4. 皮膚
5. 骨

(解答) 2と4。どちらも上皮細胞のターンオーバーが早く、放射線感受性が高い。肺繊維症、白内障、骨折は晩発障害

(23) 電離放射線による急性障害について、以下の記述のうち正しいものを2つえらべ。

1. 1~2GyのX線による全身被曝では、1週間以内に皮膚に水泡が出来る。
2. 0.5GyのX線による全身被曝では、男性は永久不妊になる。
3. 0.25GyのX線による全身被曝では、リンパ球の一時的減少が見られる。
4. 1.5GyのX線による全身被曝によって、多くの造血細胞が死に、末梢血中の血小板やリンパ細胞の数が正常状態の最大半分程度に低下する。
5. 肝臓は非常に高い再生能を有しているため、放射線に対し高感受性であり、2Gyの線量を全肝に受けると肝不全がしばしばおこる。

(解答) 3、4 皮膚の水泡は7-8Gy、男性の永久不妊は3-5Gyで起こる。肝臓は分裂頻度の低い器官であり、放射線に耐性の臓器である。

(24) 15 GyのX線による急性全身被ばくの影響に関する次の記述のうち、正しいものは



どれか。2つ選べ。

1. 直ちに脱毛する。
2. 男性では、永久不妊の心配はない。
3. 皮膚基底細胞層の再生系細胞が死滅する為、潰瘍になる。
4. 小腸絨毛基底にあるクリプト細胞が死滅するため、ほとんどの患者が10日から20日で腸死する。
5. 造血細胞が死滅していないので、骨髄移植の必要はない。

(解答) 3、4 脱毛は3週目くらいで現れる。永久不妊は、女性で6グレイ以上、男性の場合、10グレイ以上の被曝でおこる。造血細胞は腸管上皮より死にやすい。造血細胞が死滅しているので、治療しないと、出血や感染で死ぬ。

(25) 広島の実験被曝者について間違った記述はどれか？ 2つ選択せよ。

1. 被曝約2年後から白血病が増加し、約7年後にピークになり、その後、徐々に減少した。
2. 被曝の線量にほぼ直線的に比例して、次世代に遺伝疾患が増加した。
3. 臓器別の固形腫瘍の発症パターンは、自然発症の場合と大きく異なる。
4. 被曝者2世の白血病の有意な増加は認められていない。
5. 被曝していない人に比べて、寿命の短縮は観察されていない。

(解答) 2、3 動物実験では、遺伝的影響が検出できるが、原爆の被曝者の子孫に遺伝的影響は見つかっていない。その原因は不明。固形腫瘍の発症パターンは、自然発生と同じ。

(26) 放射線障害を起こす放射線量のしきい値について、以下の記述のうち正しい記述を、1つ選べ。

1. しきい値は、確定的影響と確率的影響のどちらにも存在する。
2. しきい値は、発生や成長の時期によって、異なる。
3. しきい値以上の線量をいくら被曝しても、放射線障害の重篤度は変わらない。
4. しきい値は、線量率(単位時間あたりの照射線量)が異なっても変動しない。
5. 発がんのしきい値は、線量率が低下すると、大きくなる。

(解答) 2 確率影響にしきい値は存在しない。しきい値以上の線量被ばくで、放射線障害が現れ、線量の増加に伴い重篤度があがる。少線量率の慢性被ばくでは、同じ線量の被ばくであっても、高線量率被ばくに比較して、症状が現れにくい。発がんは確率的影響であるから、しきい値が存在しない。

(27) Body CT スキャンの被曝は、100 ミリシーベルト以下である。胎児の被曝について次のうち間違った記述を1つ選べ。

1. 器官形成期（3-7週）に200ミリシーベルトの被爆があったとき、胎児に奇形が発生することがある。
2. 胎児期（9週以降）の胎児に200ミリシーベルトの被爆があった時、神経発達障害や発育遅延が起こることがある。
3. 被曝によって奇形が発生することは、次世代への影響であるから、確率的影響である。
4. 胎児に対する被爆では、ガン発生について、成人よりもより大きな影響がある。
5. 胎児が被曝したことによって発がんが増加することは、確率的影響である。

(解答) 3 着床期（〜1週）、器官形成期(3~7週)、胎児期（9週以降）の胎児影響と、しきい値を覚えること。

(28) 細胞分裂の休止期にあっても、放射線照射によって死にやすい細胞を2つ選択せよ。

1. 甲状腺上皮細胞
2. 卵子
3. 精子
4. 中枢神経細胞
5. リンパ球細胞

(解答) 2、5

(29) 次の遺伝性疾患のうち紫外線に対して高い感受性を示し、かつ20歳ぐらいから知能障害が顕われる疾患を1つ選べ。

1. ワーナー症候群
2. 色素性乾皮症
3. 毛細血管拡張性運動失調症
4. コケイン症候群

(解答) 2. 色素性乾皮症。コケイン症候群はもっと早くから老化と知能障害が出現する。

(30) アポトーシスとネクローシス（壊死）に関する、以下の記述のうち間違ったものを1つ選べ。

1. 生理的な状況で、寿命に達した上皮細胞や血液細胞が死ぬ時には、ほとんどネクローシスで死ぬ。
2. リンパ球が放射線照射によって死ぬとき、アポトーシスで死んでいる。
3. p53はアポトーシスの誘導に重要な働きをする因子である。
4. ネクローシスでは、細胞の内容物が周囲に漏洩することで、腫れや痛みを伴う炎症反応を引き起こされる。

5. DNA が損傷した時、チェックポイント経路がアポトーシスを誘導する。

(解答) 1

(31) 全身被爆後 6 時間のヒトについての診断、被爆線量の推定について、用いるのに適切な指標は何か。適切なものを3つ選べ

1. 末梢血のリンパ球数
2. 末梢血の血小板数
3. 染色体分析による、異常染色体カウント
4. 吐き気・嘔吐症状がでてきているか？ でていいるならば、発症までの時間。
5. 口内炎

(解答) 1、3、4 末梢血中リンパ細胞の数(及び減少度)、リンパ細胞の二動原体(2つの染色体が融合して生じる)の数、嘔吐症状出現までの時間の3つは被爆線量とよく相関するため、被爆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)。血小板数が低下するのは、被爆後 3 週間(血小板の寿命)。

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	

#vomiting は、嘔吐。

(32) 放射線に感受性な組織を正しく並べた選択肢はどれか？ 1つ選べ。

1. 感受性：リンパ組織、末しょう神経、腸上皮：耐性
2. 感受性：精巣、尿管上皮、骨格筋：耐性

3. 感受性：肝臓、レンズ、甲状腺上皮：耐性
4. 感受性：食道上皮、レンズ、卵巣：耐性
5. 感受性：造血組織、成長している軟骨、腸上皮：耐性

(解答) 2

(33) 放射線被曝による身体的影響のうち、確率的影響のものはどれか。すべて選べ

1. ガン
2. 脱毛
3. 再生不良性貧血
4. 次世代への遺伝的影響
5. 白内障

(解答) 1、4 再生不良性貧血は、造血幹細胞の機能不全による。

(34) ラジオアイソトープを扱う実験について間違った記述を1つ選べ

1. 内部被曝を防止するには、遮蔽、線源から距離をおく、短時間に実験を完了する、の3点が重要である。
2. 実験中はポケット線量計を身につける。
3. 床をラジオアイソトープで汚染した可能性があるときには、すぐに汚染の有無をチェックし、汚染の拡大を防止する。
4. 職業人が業務において被曝する線量の限度値は、確定的影響ではなく、確率的影響を考慮して決定される。
5. 職業人が業務において被曝する線量の限度値である20ミリシーベルト/年は、福島県で避難勧告の根拠となっている線量限度値と同じである。

(解答) 1 外部被曝を防止する注意点である。確率的影響(発がん)は、しきい値がないとされているので、確率的影響を防止するためには、確定的影響よりもはるかに厳しい被曝線量限度が決められている。京大のラジオアイソトープ総合センターは、公衆が被曝する線量限度が1ミリシーベルト/年以下になるように設計されている。この線量は、自然放射線による年間被曝量：2.4ミリシーベルトよりもさらに低い。

(35) 確率的影響と確定的影響に関する以下の記述で間違っているものを2つ選べ。

1. 放射線によるDNAの損傷によって、アポトーシスが起これ、一定数以上の細胞が死滅することで出現するのは、確定的影響である。
2. 放射線の全身被曝によって、治療をしない場合には約半分の人が死ぬのは、確率的影響である。
3. 放射線によるDNAの損傷によって、不完全にDNAが修復され、変異が入ることによって出現するのは、確率的影響である。

4. 確率的影響には、しきい値が存在しない。
5. 確定的影響のなかには、しきい値が存在しないものがある。

(解答) 2、5

(36) p53 タンパク分子について間違った記述を1つ選べ。

1. 転写因子であり、アポトーシスの誘導に関与する。
2. DNA 損傷チェックポイントで重要な働きをする。
3. 悪性腫瘍の約半数において、p53 が機能していない。
4. p53 は DNA 損傷に応答して、細胞分裂周期の進行を一時停止したり、アポトーシスを誘導することで、ガンを抑制する。
5. p53 タンパク分子が欠損した悪性腫瘍を、DNA 損傷を起こす抗がん治療に曝露すると、変異の発生率が、正常細胞での変異の発生率よりも小さい。

(解答) 5 p53 は、たくさん DNA 損傷が入った細胞を個体から排除したり、分裂周期を一時停止することにより、DNA 修復を促進する。その結果、p53 は、変異の蓄積を防止する。

(37) 骨髄死の線量 (5 グレイ) の全身被曝で、間違った記述はどれか? 1つ選べ。

1. 中枢神経に影響が出て、痙攣がおこることがある。
2. 被曝1週間後には、症状がないことが多い。
3. 被曝後数時間以内に、発熱や頭痛が起こる。
4. 被曝後2週から4週に症状が最も重篤化する。
5. 血液細胞では、各細胞の寿命に応じて、リンパ球-顆粒球-血小板-赤血球の順で細胞数が減少する。

(解答) 1 中枢神経の死による痙攣は、100グレイ以上の被曝。

(38) X線による放射線治療について、間違ったものはどれか?

1. ガンマナイフでは、X線を放出するプローブを病巣のガン細胞に押しあてて局所的に焼き殺す。
2. 分割照射をすることで、正常細胞を被曝から回復させつつ、がん細胞に照射するX線量の総量を増やすことができる。
3. 前立腺がんの治療では、 $\beta$ 放射線源を病巣に埋め込む方法がとられる。
4. 強度変調放射線治療 (Intensity Modulated Radiation Therapy: IMRT) とは、コンピュータの助けを借りて腫瘍部分のみに放射線を集中して照射できる画期的な新照射技術である。

(解答) 1

(39) 重粒子線治療について考える。以下の記述で間違っているものを1つ選べ。

1. 重粒子は、X線とは異なり、物質へ浸透しにくい。
2. 重粒子線治療では、細胞殺傷力が、ある一定の深度で急に強くなる。
3. 重粒子線の運動エネルギーを調節することで、細胞を殺傷する深度をがん組織の深度に合わせることができ、正常細胞への影響は最小限に抑えられる。
4. 重粒子線は、X線に比較して、悪性腫瘍の周囲の正常組織にも、より大きな障害を起こす。
5. 重粒子線は、X線と違って、分割照射はしない。

(解答) 4 重粒子線は、悪性腫瘍の部分に吸収エネルギーをより集中できる。すなわち、周囲の正常組織への損傷を抑えながら、より多くの線量を悪性腫瘍に浴びせることができる。X線の場合には、少量照射した後に、次の照射までのあいだ(1-2日)に、正常組織では被曝からの回復現象が見られる。それ故に、分割照射が、正常組織の障害を最小限に抑えるのに有効。重粒子線照射では、回復現象はほとんどない。

(40) 重粒子線治療についてもっと考える。以下の記述で間違っているものを1つ選べ。

1. がん細胞は酸素濃度が低い場合が多い。X線に比べて、重粒子線は低酸素状態の細胞にも効果的に作用する。
2. X線の細胞への影響では、間接影響が大きい、重粒子線では直接影響が大きい。
3. 重粒子とは、電子を含むすべての粒子線のことである。
4. 重粒子として、炭素原子、ヘリウム原子、アルゴン原子などが使用されている。
5. 重粒子線治療には、大きな加速器装置が必要となる。

(解答) 3 重粒子とは、広義には電子より重いすべての粒子線をさす。特にヘリウム以上の原子番号のものをさすことが一般的。

(41)  $^{226}\text{Ra}$  1gの放射能を1Ci(キュリー)と定義する。現在放射能を示す単位はBq(ベクレル)となった。1Bqは1秒間あたりの崩壊数である。 $^{226}\text{Ra}$  1gの放射能を以下の選択肢から選べ。ただし、アボガドロ定数は $6 \times 10^{23}$ 、 $^{226}\text{Ra}$ の半減期は1600年( $5 \times 10^{10}$ 秒)、 $\log 2 = 0.69$ とする。

- 1 3.7MBq 2 37MBq 3 3.7GBq 4 37GBq 5 3.7TBq

(解答) 4

$$-dN/dt = \lambda N = (0.69/5 \times 10^{10}) \times (1/226 \times 6 \times 10^{23})$$

$$= 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

常識として暗記しても良い数字である。