

受験番号	
------	--

令和7年度

九州大学大学院医学系学府保健学専攻修士課程

医用量子線科学分野

(問題紙・解答紙)

専 門 科 目

8月19日(月) 9:00~10:30

【注意事項】

1. 試験開始の指示があるまで、この問題紙・解答紙を開かないでください。
2. この問題紙・解答紙のページ数は、表紙を除いて17ページです。
3. 問題に脱落や印刷不鮮明などがある場合は、直ちに申し出てください。
4. 解答開始指示前に、表紙の所定欄に、また、解答開始指示後には選択した問題及びその解答欄があるページの所定欄にも受験番号をはっきりと記入してください。
5. 設問文の下に解答してください。
6. 問題紙・解答紙は冊子のままで回収しますので、バラバラにしないでください。持ち帰ってはいけません。
7. 試験終了までは退席できません。
8. 質問がある場合、またはトイレ等の場合は、手を挙げてください。
9. 選択問題は1~9のうち3問を選択して解答してください。また、選択した問題の番号を以下の枠内に必ず記入してください。その他の解答は、採点の対象とはなりません。

選択問題番号

--	--	--

受験番号	
------	--

必須問題 (1-1~1-9)を全て、選択問題 1~9のうち3問を選び、解答せよ。

【必須問題】 解答は、4ページの解答欄に記入せよ。

問 1-1 腹部 MR 画像を用いて疾患 A を検出する人工知能アプリが開発された。このアプリを用いると、疾患 A の人の 80%を「疾患 A である」と判定し、疾患 A でない人の 90%を「疾患 A ではない」と判定するという結果がある。一般に疾患 A に罹患している割合は 70%であるというデータがあるとき、ある人がこのアプリによって「疾患 A である」と判定された場合に、実際に疾患 A の人である確率はいくらか。

1. 0.41
2. 0.44
3. 0.65
4. 0.85
5. 0.95

問 1-2 呼吸器系の解剖で、誤っているのはどれか。

1. 呼吸細気管支の壁に肺胞を認める。
2. 左主気管支は右主気管支より長い。
3. 中間気管支幹は右側にのみ存在する。
4. 細気管支には気管支腺が存在する。
5. 肺表面は臓側胸膜に覆われている。

問 1-3 胎児の被ばくについて、次のうち正しいものはどれか。

1. 妊娠時期の中で胎児期が最も放射線の感受性が高い。
2. 腹部単純撮影時で胎児の線量はおよそ 2 mGy である。
3. 着床前期に被ばくすると、奇形の発生する可能性がある。
4. 胎児の組織反応で最も低いしきい線量は 10 mGy である。
5. 妊娠中の放射線業務従事者の放射線業務中の胎児の被ばくは職業被ばくに区分される。

受験番号	
------	--

問 1-4 体重 60 kg の患者に 4 MBq/kg の ^{18}F -FDG を 13:30 に投与し 15:20 から PET 撮像を開始した。病変部のカウントが 10 kBq/mL であった場合、この病変の SUV 値は以下のどれか。ただし ^{18}F の半減期を 110 分、人体の比重を 1 として計算せよ。

- 1
- 3
- 5
- 8
- 10

問 1-5 X線撮影機器の受像器について次のうち正しいものはどれか。

- イメージングプレートは charge coupled device (CCD) を用いた素子で構成される。
- 直接変換方式の X線平面検出器 (FPD) はアモルファスセレン (a-Se) などの X線フォトコンダクタを用いた素子で構成される。
- 間接変換方式の X線 FPD は $\text{BaFX}:\text{Eu}^{2+}$ 蛍光体 (X = Cl, Br, I) を用いた素子で構成される。
- 直接変換方式の X線 FPD は X線の分布を光画像に変換し、時系列の電気信号に変換する。
- 間接変換方式の X線 FPD は X線の分布を磁気分布に変換し、時系列の電気信号に変換する。

問 1-6 ^{60}Co γ 線のエネルギースペクトルでエネルギーが最も高いのはどれか。

- サムピーク
- 後方散乱ピーク
- コンプトンエッジ
- ダブルエスケープピーク
- シングルエスケープピーク

問 1-7 デジタル画像について次のうち正しいのはどれか。

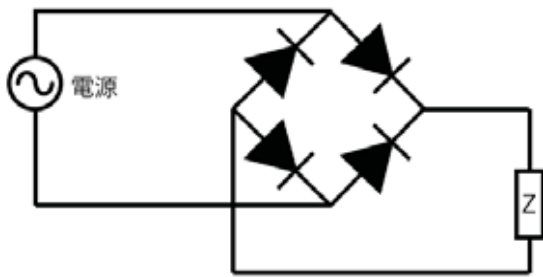
- アナログ信号のデジタル化では量子化の後に標本化が行われる。
- 量子化レベルが 8 ビットの場合、階調として取り得る数値は 512 である。
- 標本化定理を満足しない間隔でサンプリングするとトランケーションエラーが発生する。
- 標本化間隔が 0.2 mm の場合、ナイキスト周波数は 2.5 cycles/mm となる。
- マトリクスサイズが 1024×1024 、量子化レベルが 1024 階調の画像データをコンピュータに圧縮無しで保存すると 10 MB になる。

受験番号	
------	--

問 1-8 放射線治療の有害事象について誤っているはどれか。

1. 急性期有害事象は照射開始後～3 か月以内に発生する。
2. 急性期有害事象は一般的に不可逆性である。
3. 晩期有害事象は1回線量に依存する。
4. 食道炎は胸部への照射による急性期有害事象である。
5. 仙骨不全骨折は骨盤部への照射による晩期有害事象である。

問 1-9 下図の回路名称はどれか。なお電源には正弦波交流電圧を印加し、Zが負荷のインピーダンスを示す。



1. デルタ結線回路
2. スクエア結線回路
3. 6ピーク整流回路
4. 半波整流回路
5. 全波整流回路

受験番号	
------	--

【必須問題 解答欄】

問 1-1	5
問 1-2	4
問 1-3	2
問 1-4	3
問 1-5	2
問 1-6	1
問 1-7	4
問 1-8	2
問 1-9	5

受験番号	
------	--

【選択問題1】MRIの主なアーチファクトを5種類挙げ、その原因と回避法についても述べよ。

1. 折り返しアーチファクト

原因：設定したFOVの外の物体にも、受信コイル近くのものには傾斜磁場がかかっており信号を出す。サンプリング数が少ないとFOVの内と外のを区別できず、外のが内のもので誤って内側のピクセルに位置づけられる。 $f_{max} - -f_{max}$ がナイキスト周波数で、最大周波数 f_{max} はFOVの端に相当する。FOVの外にある部分はすべてさらに高い周波数となるが、FOV内の低い周波数に“転籍”される。これが折り返しアーチファクトである。

対策：

- ①FOVを大きく設定する（傾斜磁場を弱くする）。
- ②oversampling (no phase wrap, no frequency wrap) を行う。
- ③表面コイルを使用する（FOV外から信号を受信しない）。
- ④FOV外からの信号を消去する (saturation pulse)。
- ⑤3D撮影でスライス選択方向にアーチファクト(+)の場合、最初と最後の数スライスを捨てる。

2. 動きによるアーチファクト (motion artifact)

原因：位相エンコード用のグラディエントが印加されて、リードアウトグラディエントが印加されエコーが観察されるまでの時間差に、空間的に移動したものはアーチファクトを生じる。この場合のアーチファクトは常に位相エンコーディング方向に出現する。位相エンコードからエコー収集までの時間が長いので、動きの影響を受けやすい。

周波数エンコードとエコー収集は同時なので、周波数軸方向にはアーチファクトを生じない。動きの途中で、構造が周期的に位相エンコード方向の中心に近づいたり遠のいたりすることが原因。三次元画像では別のスライスにアーチファクトが出るので十分注意する。

対策：

- ①EKG同期、呼吸同期を使用する
- ②呼吸の動きを補正する (respiratory compensation)。
- ③呼吸停止下に撮影する (撮像時間↓ ~S/Nや空間分解能が犠牲になる)。
- ④アーチファクト発生源の信号を抑制する (pre-saturation pulse や脂肪抑制)。
- ⑤動きに強いk空間の充填法 ((PROPELLER、JET、RADER))。

3. 化学シフトアーチファクト

原因：脂肪と水で、プロトンの共鳴周波数が異なることより生じるアーチファクトである。SE法およびgradient echo (GRE) 法では、位相エンコード用傾斜磁場に比べ周波数エンコード用傾斜磁場強度が弱いために、周波数エンコード方向に発生する。しかしながらEPIの場合では、非常に強力な周波数エンコード用傾斜磁場の高速反転と、弱い位相エンコード用傾斜磁場を使用するため、CSAは位相エンコード方向に大きく現れる。

脂肪が低周波数方向（低磁場側）に移動し、高周波数方向（高磁場側）で水と重なり高信号とり、低周波数方向（低磁場側）では低信号となる。

対策：

- ①バンド幅を拡大する
- ②周波数Encode Matrix数(Nx)を縮小する
- ③TEを長くする
- ④脂肪抑制法を適応する (脂肪飽和パルスやSTIR)

4. 打ち切りアーチファクト (truncation artifact)

原因：高信号部と低信号部の境界近傍でデータのアンダーサンプリングにより生じるアーチファクト。Gibb's現象とも呼ばれる。位相方向に発生しやすい。

フーリエ変換MRIにおいては、すべての画像は多様な周波数からなる正弦波の重なりとして近似される。

低周波成分が大まかな形態を近似、高周波成分がそれを補正。

実際にはすべての周波数成分を使って近似することはできず、高周波成分は打ち切られており、コントラストの大きい境界面に沿って縞模様のアーチファクトを生じる。

対策：

- ①バンド幅を狭くする（サンプル時間を長くする）
- ②ピクセルサイズを小さくする（ $N_y \uparrow$ or $FOV \downarrow$ ）

5. 磁化率アーチファクト (susceptibility artifact)

原因：磁性体や磁化率が異なる物質が存在することにより局所の磁場が乱され不均一となりするため生じるアーチファクトであり、その部分が低信号になる。グラディエントエコー（GRE）法やエコープラナー（EPI）法で強調される。具体的には、金属や空気との境界（特に拡散強調像にて）でみられる。

逆に、ヘモジデリンや石灰化の検出にGRE法を用いることもある。

SE法、特にFSE法では影響を受けにくい。

対策：

- ①GRE法の代わりにSE法を用いる（ 180° パルスで位相ずれ修正）
- ②可能な限り短いTE（位相がずれる時間を短くする）
- ③BWを広くする（サンプリング時間を短くする）
- ④スライス厚を薄く、またはボクセルサイズを小さく（位相分散を小さくする）
- ⑤取り外せる金属は取り除いて検査を行う（入れ歯、ネックレス）

6. クロストークアーチファクト

RFパルスによってスライス面を選択するとき、RFパルスのフーリエ変換が正確に矩形でないために、隣接するスライス面の一部をも励起してしまう。実効TRが短くなるため（隣接するRFによりプロトンが飽和する）、T1強調が強まる。また、TRが短縮するため、SNRが低下する。脊椎の椎間板に平行なスライスを、マルチスライス法撮影した場合にみられる。

対策：

- ①スライス間隔をあける（スライス厚の10-20%）。
- ②スライス励起を1枚飛ばしにする（奇数→偶数など）。

受験番号	
------	--

【選択問題2】 診断参考レベル (diagnostic reference levels: DRLs) について、以下の問題に答えよ。

(1) DRL 設定の目的に関する文を以下に示す。(a)から(e)に該当する語句を示しなさい。

「DRL は (a) のプロセスを推進するためのツールである。DRL を活用すると、多施設より高い線量を用いている施設はそれに気づくことが出来る。この DRL の意義として最も強調すべき点は (b) ではないこと、そして診療行為の是非を分ける境界ではないということである。自施設での典型的な線量を調査し、その (c) が DRL 値を超えている場合、結果的に (d) な理由がない限り、線量が (a) されているかを判定するための見直しを行う必要がある」

a: **最適化** b: **線量限度** c: **中央値** d: **正当**

(2) 日本の DRLs (2020 版) に示されている、CT、一般撮影、核医学の線量指標と単位を示しなさい。

解答例

**CT : CTDIvol (mGy) 、DLP (Gy cm) 一般撮影 : 入射表面線量 (mGy) 、
核医学 : 投与時放射能 (MBq)**

(3) 自施設での値が DRL より高い場合、どのような対応をすべきか示しなさい。

解答例

**測定方法、評価方法が適切であったか確認する。
画質に問題がないかを確認する。
その上で照射条件を下げる余地があるかを検討する。**

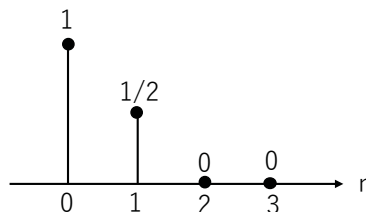
受験番号	
------	--

【選択問題3】フーリエ変換とサンプリング・量子化に関する問いに答えなさい。

1. データ点が4つ($N = 4$)のとき DFT(discrete Fourier transform: 離散フーリエ変換)は以下のように定義される。また図のような4つのデータ列を考える。次の問いに答えなさい。

$$\text{DFT の式: } \begin{pmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_N^{-1} & W_N^{-2} & W_N^{-3} \\ 1 & W_N^{-2} & W_N^{-4} & W_N^{-6} \\ 1 & W_N^{-3} & W_N^{-6} & W_N^{-9} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{pmatrix}$$

$$\text{逆 DFT の式: } \begin{pmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & W_N^1 & W_N^2 & W_N^3 \\ 1 & W_N^2 & W_N^4 & W_N^6 \\ 1 & W_N^3 & W_N^6 & W_N^9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{pmatrix}$$



(1) $W_N = e^{i\frac{2\pi}{N}} (= \cos(\frac{2\pi}{N}) + i\sin(\frac{2\pi}{N}))$, $W_N^N = 1, W_N^k \neq 1 (k = 1, 2, \dots, N - 1)$ のとき, DFT の行列を求めなさい。例えば, $W_N^{-1} = (e^{i\frac{2\pi}{4}})^{-1} = e^{-i\frac{2\pi}{4}} = \cos(\frac{\pi}{2}) - i\sin(\frac{\pi}{2}) = -i, W_N^{-2} = (e^{i\frac{2\pi}{4}})^{-2} = e^{-i\frac{4\pi}{4}} = \cos(\pi) - i\sin(\pi) = -1$ となる。

DFT 変換行列は以下のようになる。

$$A = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -i & -1 & i \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & i & -1 & -i \end{pmatrix}$$

(2) $\{f_0 = 1, f_1 = 1/2, f_2 = 0, f_3 = 0\}$ の上右図のデータ ($N = 4$) の DFT を求めなさい。

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} F_0 \\ F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{pmatrix} &= Af = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -i & -1 & i \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & i & -1 & -i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1/2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 + \frac{1}{2} + 0 + 0 \\ 1 - \frac{i}{2} - 0 + 0 \\ 1 - \frac{1}{2} + 0 + 0 \\ 1 + \frac{i}{2} - 0 + 0 \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 3/2 \\ 1 - \frac{i}{2} \\ 1/2 \\ 1 + \frac{i}{2} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 3/8 \\ 1/4 - \frac{i}{8} \\ 1/8 \\ 1/4 + \frac{i}{8} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

受験番号	
------	--

(3) 問(2)の結果の逆DFTを求めなさい。

$$\begin{aligned}
 \begin{pmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{pmatrix} &= A^{-1}f = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & i & -1 & -i \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -i & -1 & i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3/2 \\ 1 - \frac{i1}{2} \\ 1/2 \\ 1 + \frac{i1}{2} \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 3/2 + 1 - \frac{i1}{2} + \frac{1}{2} + 1 + \frac{i1}{2} = 4 \\ 3/2 + i + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} - i + \frac{1}{2} = 2 \\ 3/2 - 1 + \frac{i1}{2} + \frac{1}{2} - 1 - \frac{i1}{2} = 0 \\ 3/2 - i - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} + i - \frac{1}{2} = 0 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 1 \\ 1/2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

2. ある歌の5分間の曲を適切にサンプリングし、それぞれのサンプリング点を16ビットで量子化したデジタルの曲をCDに記録することを考える。この曲には最低何キロバイト必要か。ただし、人間の耳の可聴域の上限を20 kHzと仮定する。

人間の耳は20 kHzまでしか聞こえないと仮定しているので、曲の最高周波数を20 kHzとします。したがって、サンプリング間隔は、

$$\frac{1}{2 \times 20 \times 10^3}$$

5分の曲をこのサンプリング間隔でサンプリングすると、サンプリング点数は

$$\frac{5 \times 60}{\frac{1}{2 \times 20 \times 10^3}}$$

1個のサンプリング点のデータ量は16ビットなので、2バイト。したがって、全体のデータ量は

$$\frac{5 \times 60}{2 \times 20 \times 10^3} \times 2 = 24 \text{ MB}$$

となる。

受験番号	
------	--

【選択問題4】以下の要素や技術がPETの分解能や感度、計数特性にどのような影響を与えるかを述べよ。

(1) 放射性核種の種類

放出される β^+ 線（ポジトロン）のエネルギーが高いほど自由飛程が長くなる。したがって崩壊部位と消滅放射線発生部位の差が大きくなり分解能の低下をもたらす。臨床で用いられる核種だと ^{15}O 、 ^{14}N 、 ^{11}C 、 ^{18}F の順で分解能が向上する。感度や計数特性への影響はない。

(2) 検出器のクリスタルサイズ

検出器のクリスタルサイズ（縦横方向）が小さいほど分解能が向上する。またクリスタルの厚みが厚いと感度が向上する。感度についてはクリスタルの材質にも依存し、BG0のほうがLS0よりも感度が高い。

(3) 同時計数time window

同時計数time windowを狭くすることで散乱線を少なくすることができるが合計カウント（感度）は低下する。分解能には影響しない。

受験番号	
------	--

(4) Z 軸方向の FOV (field of view)

3D収集ではZ軸方向のFOVを増やすことで感度を上昇させることができる。
一般にZ軸方向のFOVが2倍になれば感度は4倍になる。
一方で散乱同時計数、偶発同時計数は増加する。分解能には影響しない。

(5) Time of Flight 収集

Time of Flight 収集をもちいて再構成を行うことでS/N比を向上させることができる。
したがって見かけ上の感度は上昇する。分解能には影響しない。

(6) ガントリー径

ガントリー径が大きくなることでポジトロンの消滅放射線の角度揺動が大きく影響するようになるため分解能が低下する。感度、計数率には影響しない。

(7) Point Spread Function 補正

Point Spread Function 補正を行うことで特に視野辺縁部の分解能を向上させることができる。感度、計数率には影響しない。

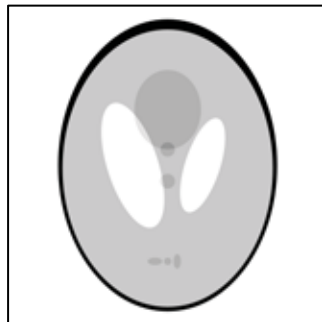
受験番号	
------	--

【選択問題5】CT画像について、次の(1)、(2)の問いに答えよ。

(1) 次の2つの図はCT画像である。この図にリングアーチファクトとシャワー状アーチファクトの例をそれぞれ描きなさい。またそれらの違いについて、「検出器素子、故障、投影角度、X線の出力、異常」の5つの用語を用いて説明せよ。



リングアーチファクト

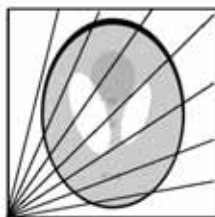


シャワー状アーチファクト

解答例



リングアーチファクト



シャワー状アーチファクト

リングアーチファクトは検出器素子の故障などが原因で投影データの特性が近傍で大きく乖離した場合に生じる。リングアーチファクトは、一般的には全ての投影角度でその影響が見られ、この場合には明らかな円の形状を示す。一方で、シャワー状アーチファクトは、ある投影角度で一瞬X線の出力が異常となった場合に生じることが知られている。

(2) 水と対象物の線減弱係数をそれぞれ μ_w と μ_T とした場合、CT値の定義式を記せ。また一般的な対象物のCT値は被写体サイズに依存する。この理由を説明せよ。

解答例

$$CT値[HU] = 1000 \times \frac{\mu_T - \mu_w}{\mu_w}$$

CT値は、水と対象物の線減弱係数を用いて定義される。この線減弱係数は、X線のエネルギーに依存する質量減弱係数と密度の積で表される。対象物が水や空気でない場合、質量減弱係数のエネルギー依存性は、水や空気と比較して大きい。一般的な対象物は、水や空気のみで構成されていないため、質量減弱係数のエネルギー依存性は無視できなくなる。被写体サイズが異なると、線硬化現象により質量減弱係数は変化する。これにより、対象物のCT値は被写体サイズに依存することとなる。

受験番号	
------	--

【選択問題6】視覚評価のCDダイアグラムについて、以下の用語を使い説明しなさい。また、説明に必要な場合はグラフや図を描きなさい。

用語：バーガーファントム、解像度、粒状性、対数、IQF、IQF_{inv}、有意差検定、誤報確立

解答例

CDはContrast Detailの略で、G.E.C.Burgerが開発した視覚評価法である。

図1のバーガーファントムをX線撮影し、複数名の観察者により信号サイズごとにどこまで見えるか回答し、その信号の直径と深さをプロットしてグラフ化したものをCDダイアグラム(図2)と呼ぶ。縦軸が信号の深さ、横軸が信号の直径を表し、どちらも対数のスケールで表示する場合が多い。グラフの曲線が下にあるほど信号検出能が高いことを意味し、図2の場合はAの方がBに比べ検出能が高い。またこのグラフから、

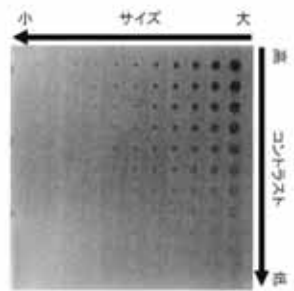


図1

図2の信号直径の小さなところ(グレー色○)はコントラストが十分に大きく直径が小さな信号のため、どこまで小さな信号が検出できるかを比較でき、解像度がわかる。一方、信号直径の大きなところ(色なし○)では、どこまで低いコントラストの像を検出できるかを比較でき、雑音の影響による粒状性がわかる。

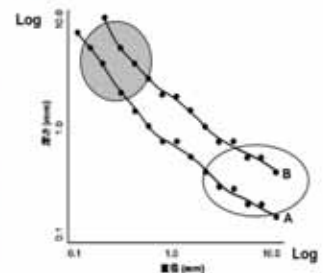


図2

この図の場合は、Aの方がBに比べ解像度も粒状性も優れていることが読取れる。バーガーファントムは凸・凹型があり、X線撮影した場合凸は信号が白、凹は黒の信号として現れる。バーガーが開発したファントムの欠点は、見えてないのに見えると答える観察者がいる場合も考えられ、やや正確性に欠けることも考えられ、近年は図3のように信号は中心と、四隅のうち1か所に配置され、その位置を答えることでその欠点を解決している。←書かれている場合、加点します。



図3

また、臨床研究でCDダイアグラムを比較する場合、その差がわずかであり、かつ、交差するケースも多いため、CD曲線下の面積を求めIQFとして比較検証する方法がとられている。IQFはimage quality figureの略で、画質指数とも呼ばれる。

次の式であらわされる。

$$IQF = \sum_{i=1}^{12} (C_i \cdot D_i)$$

IQF値は信号検出能が高いほど、低い値を示すため、近年ではIQF_{inv}として

$$IQF_{inv} = 100 / \sum_{i=1}^{12} (C_i \cdot D_i)$$

の式で計算比較され、画質が良くなるとIQF_{inv}が大きくなる値となる。C_i、D_iはそれぞれ穴の深さ(mm)および直径(mm)である。視覚評価実験は観察試料や人のばらつきを含んでいるため、必ず有意差検定を行い、その差に統計的有意差があるかを求めなければならない。CDダイアグラムは簡便な視覚評価法ではあるが、信号が必ずあるため、ROC曲線と比較して、誤報確率(false positive)が得られない欠点を有している。

受験番号	
------	--

【選択問題7】ブラック・グレイの空洞理論に基づく、空洞空気電離箱による光子線の線量測定に関して次の問いに答えよ。

(1) ブラック・グレイの空洞理論に基づいた、空洞空気電離箱による光子線の水吸収線量測定について式を用いて説明せよ。使用する記号の定義も記載せよ。

(2) 一方は壁がアルミニウム製、もう一方は壁がグラファイト製であること以外、幾何学的構造等が同一のふたつの空洞空気電離箱がある。壁の厚さは、1 MeV の光子に対する二次電子の飛程の最大値より厚く、その中での光子の減衰は無視できるとする。二次電子の平均エネルギーが1 MeV の時、ブラック・グレイ空洞を仮定して、ふたつの電離箱内に生成される初期電荷の比 Q_{Al}/Q_C のおよその値を評価せよ。また、以下の表を参照せよ。

Aluminum				Carbon (Graphite)			
ENERGY MeV	STOPPING POWER		TOTAL MeV cm ² /g	ENERGY MeV	STOPPING POWER		TOTAL MeV cm ² /g
	COLLISION MeV cm ² /g	RADIATIVE MeV cm ² /g			COLLISION MeV cm ² /g	RADIATIVE MeV cm ² /g	
0.0100	1.649E+01	6.559E-03	1.650E+01	0.0100	2.014E+01	3.150E-03	2.014E+01
0.0125	1.398E+01	6.700E-03	1.398E+01	0.0125	1.694E+01	3.161E-03	1.695E+01
0.0150	1.220E+01	6.798E-03	1.221E+01	0.0150	1.471E+01	3.168E-03	1.471E+01
0.0175	1.088E+01	6.871E-03	1.088E+01	0.0175	1.305E+01	3.172E-03	1.305E+01
0.0200	9.844E+00	6.926E-03	9.851E+00	0.0200	1.177E+01	3.176E-03	1.177E+01
0.0250	8.338E+00	7.004E-03	8.345E+00	0.0250	9.913E+00	3.184E-03	9.916E+00
0.0300	7.287E+00	7.059E-03	7.294E+00	0.0300	8.626E+00	3.194E-03	8.629E+00
0.0350	6.509E+00	7.100E-03	6.516E+00	0.0350	7.679E+00	3.204E-03	7.682E+00
0.0400	5.909E+00	7.133E-03	5.916E+00	0.0400	6.950E+00	3.215E-03	6.953E+00
0.0450	5.430E+00	7.162E-03	5.437E+00	0.0450	6.372E+00	3.228E-03	6.375E+00
0.0500	5.039E+00	7.191E-03	5.046E+00	0.0500	5.901E+00	3.241E-03	5.904E+00
0.0550	4.714E+00	7.217E-03	4.721E+00	0.0550	5.510E+00	3.255E-03	5.513E+00
0.0600	4.439E+00	7.243E-03	4.446E+00	0.0600	5.179E+00	3.270E-03	5.183E+00
0.0700	3.998E+00	7.295E-03	4.005E+00	0.0700	4.652E+00	3.303E-03	4.655E+00
0.0800	3.661E+00	7.350E-03	3.668E+00	0.0800	4.249E+00	3.337E-03	4.253E+00
0.0900	3.394E+00	7.411E-03	3.401E+00	0.0900	3.931E+00	3.375E-03	3.935E+00
0.1000	3.177E+00	7.476E-03	3.185E+00	0.1000	3.674E+00	3.414E-03	3.677E+00
0.1250	2.781E+00	7.659E-03	2.789E+00	0.1250	3.204E+00	3.523E-03	3.207E+00
0.1500	2.513E+00	7.865E-03	2.521E+00	0.1500	2.886E+00	3.640E-03	2.890E+00
0.1750	2.320E+00	8.096E-03	2.328E+00	0.1750	2.657E+00	3.764E-03	2.661E+00
0.2000	2.174E+00	8.344E-03	2.183E+00	0.2000	2.485E+00	3.896E-03	2.489E+00
0.2500	1.972E+00	8.888E-03	1.981E+00	0.2500	2.245E+00	4.179E-03	2.249E+00
0.3000	1.839E+00	9.487E-03	1.849E+00	0.3000	2.087E+00	4.489E-03	2.092E+00
0.3500	1.747E+00	1.013E-02	1.757E+00	0.3500	1.977E+00	4.820E-03	1.981E+00
0.4000	1.680E+00	1.082E-02	1.691E+00	0.4000	1.896E+00	5.173E-03	1.901E+00
0.4500	1.630E+00	1.154E-02	1.642E+00	0.4500	1.835E+00	5.545E-03	1.841E+00
0.5000	1.592E+00	1.230E-02	1.604E+00	0.5000	1.788E+00	5.935E-03	1.794E+00
0.5500	1.563E+00	1.309E-02	1.576E+00	0.5500	1.752E+00	6.340E-03	1.758E+00
0.6000	1.540E+00	1.390E-02	1.554E+00	0.6000	1.722E+00	6.759E-03	1.729E+00
0.7000	1.507E+00	1.560E-02	1.522E+00	0.7000	1.679E+00	7.637E-03	1.687E+00
0.8000	1.486E+00	1.739E-02	1.503E+00	0.8000	1.650E+00	8.559E-03	1.659E+00
0.9000	1.473E+00	1.925E-02	1.492E+00	0.9000	1.631E+00	9.523E-03	1.640E+00
1.0000	1.465E+00	2.119E-02	1.486E+00	1.0000	1.617E+00	1.053E-02	1.627E+00
1.2500	1.457E+00	2.630E-02	1.484E+00	1.2500	1.599E+00	1.318E-02	1.612E+00
1.5000	1.460E+00	3.177E-02	1.491E+00	1.5000	1.593E+00	1.602E-02	1.609E+00
1.7500	1.466E+00	3.752E-02	1.504E+00	1.7500	1.594E+00	1.901E-02	1.613E+00
2.0000	1.475E+00	4.350E-02	1.518E+00	2.0000	1.597E+00	2.213E-02	1.619E+00
2.5000	1.493E+00	5.605E-02	1.549E+00	2.5000	1.608E+00	2.870E-02	1.637E+00
3.0000	1.510E+00	6.924E-02	1.580E+00	3.0000	1.621E+00	3.561E-02	1.657E+00
3.5000	1.526E+00	8.292E-02	1.609E+00	3.5000	1.634E+00	4.281E-02	1.677E+00

(F.H. Attix "Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry" より一部を抜粋して表を引用)

受験番号	
------	--

(1)

空洞空気電離箱壁の材質が w であり、空洞中に含まれる空気の質量が m [kg] とする。光子線の照射により空気中に Q [C] の電荷が発生したとすると、光子線の空気吸収線量は、

$\frac{Q}{m}(\overline{W/e})_{\text{air}}$ [J/kg = Gy] となる。ここで、 $(\overline{W/e})_{\text{air}}$ [J/C] は二次電子スペクトルで平均された空気の \overline{W} 値である。ブラッグ・グレイ条件が成り立つ場合、空洞理論によりこの空気を取り囲む電離箱

壁材質 w に対する吸収線量 D_w [Gy] は、空気吸収線量に壁材質 w と空気の二次電子に対する平均

衝突質量阻止能比 $\frac{m\overline{S}_w}{m\overline{S}_{\text{air}}} \equiv m\overline{S}_{\text{air}}^w$ を乗ずることにより得られる。すなわち、ブラッグ・グレイの空

洞理論は、 $D_w = \frac{Q}{m}(\overline{W/e})_{\text{air}} \cdot m\overline{S}_{\text{air}}^w$ と表されることになる。もし、電離箱壁材質 w が水等価物質の場合

は、 D_w をそのまま水吸収線量 D_{water} とみなすことができる。壁材質が水等価で無い場合は、対象とする光子線のエネルギーに対応する、壁材質と水の質量エネルギー吸収係数比を乗じる必要

がある。すなわち、 $D_{\text{water}} = D_w \times \frac{(\mu_{\text{en}}/\rho)_{\text{water}}}{(\mu_{\text{en}}/\rho)_w}$ である。ここに、 (μ_{en}/ρ) は各物質に対する質量エネルギー

吸収係数を表している。

(2)

同一の光子線が照射される場合の、各電離箱壁で評価される吸収線量は、ブラッグ・グレイの空洞理論により

$$D_{\text{Al}} = \frac{Q_{\text{Al}}}{m_{\text{air}}} (\overline{W/e})_{\text{air}} \frac{m\overline{S}_{\text{Al}}}{m\overline{S}_{\text{air}}}, \quad D_{\text{C}} = \frac{Q_{\text{C}}}{m_{\text{air}}} (\overline{W/e})_{\text{air}} \frac{m\overline{S}_{\text{C}}}{m\overline{S}_{\text{air}}}$$

両者の吸収線量はほぼ等しいことより、

$$\frac{Q_{\text{Al}}}{m_{\text{air}}} (\overline{W/e})_{\text{air}} \frac{m\overline{S}_{\text{Al}}}{m\overline{S}_{\text{air}}} = \frac{Q_{\text{C}}}{m_{\text{air}}} (\overline{W/e})_{\text{air}} \frac{m\overline{S}_{\text{C}}}{m\overline{S}_{\text{air}}}$$

すなわち、 $Q_{\text{Al}} \cdot m\overline{S}_{\text{Al}} = Q_{\text{C}} \cdot m\overline{S}_{\text{C}}$ の関係が得られる。

1 MeV の電子に対する質量衝突阻止能の値は、添付の表より

$$\text{for 1 MeV electrons } m\overline{S}_{\text{Al}} = 1.465 \text{ (MeV cm}^2\text{/g)}$$

$$\text{for 1 MeV electrons } m\overline{S}_{\text{C}} = 1.617 \text{ (MeV cm}^2\text{/g)}$$

$$\therefore Q_{\text{Al}}/Q_{\text{C}} = m\overline{S}_{\text{C}}/m\overline{S}_{\text{Al}} = 1.617/1.465 = 1.103$$

以上より、 $Q_{\text{Al}}/Q_{\text{C}}$ のおよその値は、1.10 と評価される。

受験番号	
------	--

【選択問題8】放射線治療について、次の(1)、(2)の問いに答えよ。

(1) 強度変調放射線治療の具体的な照射方法について述べよ。

解答例

強度変調放射線治療とはそれまで主流であった3次元原体照射と異なり、照射野内の線量分布を不均一にし、多方向から照射を行うことによって、いびつな形状の線量分布を作成することにより標的体積に十分な線量を投与しながら、近傍に位置するリスク臓器などの線量を低減することが可能な技術である。

これを可能にしたのは治療機に搭載されるマルチリーフコリメータと治療計画装置である。マルチリーフコリメータが照射中に形状を変えることにより線量分布が不均一となり、これを多方向あるいは回転しながら行うことで線量分布がいびつな形状にすることが可能になる。また治療計画装置はCT画像を利用する3次元治療計画に加えて、強度変調放射線治療では標的体積に対する目標線量やリスク臓器に対する線量制約を設定し、DVHをもとにインバースプランニングによって治療計画を行う。これらの技術の進歩により強度変調放射線治療が可能になった。

(2) 画像誘導放射線治療および呼吸移動対策について、その原理および方法について述べよ。

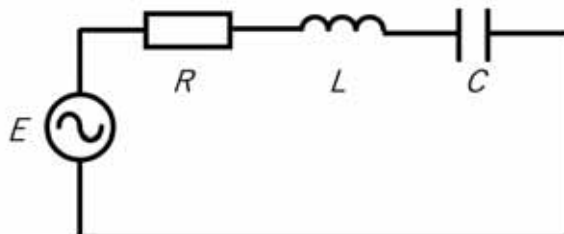
解答例

画像誘導放射線治療とは2方向以上の2次元照合画像または3次元照合画像に基づいて、治療の際に患者位置変位量を3次的に計測、修正し、照射位置を可能な限り再現する照射技術である。その方法としては治療室に設置された透視装置やCT装置、あるいは治療装置に付属した撮影装置やコーンビームCT撮影装置などが用いられる。

呼吸移動対策は体幹部における標的の呼吸性移動に対するものであり、呼吸を抑制して腫瘍の動きを最小限にする方法や腫瘍を迎撃・追尾する方法、呼吸度に同期して照射する方法などがある。

受験番号	
------	--

【選択問題9】 下図のRLC直列回路について（1）～（4）の間に答えよ。



(1) 交流電源の周波数を ω [rad/s] とするとき、合成インピーダンスを求めよ。

解答例

直列 RLC 回路の合成インピーダンスは、以下のように表される。

$$\dot{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

または、以下も可。

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

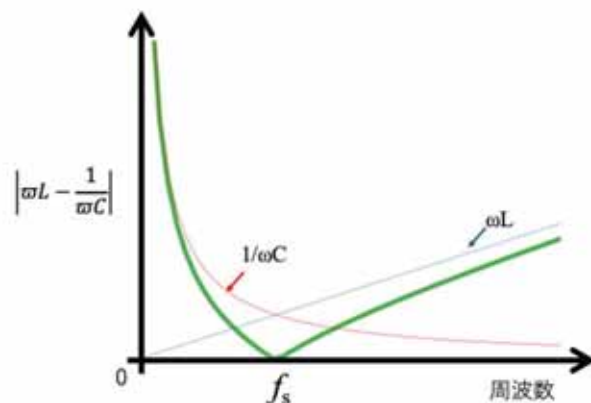
(2) 共振周波数 f_s [Hz] を求めよ。尚、 $R=10 \Omega$ 、 $L=10 \text{ mH}$ 、 $C=100 \text{ pF}$ とする。

直列 RLC 回路の共振周波数 f_s は、 $f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ [Hz] より、

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ [Hz]} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10 \times 10^{-3} \times 100 \times 10^{-12}}} \sim 159154.9 \text{ Hz} \sim 159 \text{ kHz}$$

受験番号	
------	--

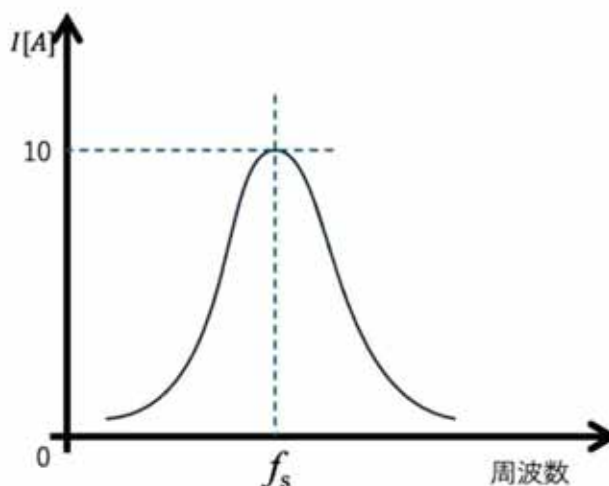
(3) 問(2)の条件において、合成インピーダンスのリアクタンス(絶対値)の周波数依存性を図示せよ。尚、周波数依存性は、共振周波数 f_s [Hz]前後の周波数を含むこと。



上記、緑線が解答。赤線・青線はなくて良い。 f_s 周波数に具体値(159kHz)が記入されていて可。

(4) 問(3)の条件において、電流 I (実効値)の周波数依存性を図示せよ。尚、 $E=100$ V とする。

共振周波数の抵抗は $10\ \Omega$ であるので、 $100 \div 10 = 10$ A がピーク値。



f_s 周波数に具体値(159kHz)が記入されていて可。