

AAPM 報告書 No. 90
(AAPM 報告書 No. 36 改訂版)

病院実習主体の医学物理レジデント訓練プログラムの 要件とガイドライン

AAPM 教育審議会の医学物理教育と訓練委員会
の
レジデント訓練と推奨に関する小委員会報告書

2006 年 8 月

アメリカ医学物理士協会 (AAPM)

(順天堂大学 先端放射線治療・医学物理学講座 翻訳)

目次

序論

第 1 章

画像診断物理レジデント訓練プログラムのガイドラインと要件

- 1.1 はじめに
- 1.2 画像診断レジデント訓練プログラムの目的
- 1.3 必要とされる知識
- 1.4 画像診断物理レジデントプログラムの構成と実施内容
- 1.5 画像診断学に関わる医学物理士が必ず身に付けるべき専門能力
- 1.6 画像診断物理レジデントの条件
- 1.7 画像診断物理レジデントが学ぶべき放射線物理の知識
- 1.8 画像診断物理レジデントが学ぶべき医学知識
- 1.9 画像診断医学物理レジデントが学ぶべき放射線生物学の知識

第 2 章

核医学レジデント訓練プログラムのガイドラインと要件

- 2.1 はじめに
- 2.2 核医学物理レジデント訓練プログラムの目的
- 2.3 必要とされる知識
- 2.4 核医学物理レジデントプログラムの構成と実施内容
- 2.5 核医学に関わる医学物理士が必ず身に付けるべき専門能力
- 2.6 核医学物理レジデントの条件
- 2.7 核医学物理レジデントが学ぶべき放射線物理の知識
- 2.8 核医学物理レジデントが学ぶべき医学知識
- 2.9 核医学物理レジデントが学ぶべき放射線生物学の知識

第 3 章

放射線治療物理レジデント訓練プログラムのガイドラインと要件

3.1 はじめに

3.2 放射線治療物理レジデント訓練プログラムの目的

3.3 必要とされる知識

3.4 放射線治療物理レジデントプログラムの構成と実施内容

3.5 放射線腫瘍学に関わる医学物理士が必ず身に付けるべき専門能力

3.6 放射線治療物理レジデントの条件

3.7 放射線治療物理レジデントが学ぶべき放射線物理の知識

3.8 放射線腫瘍物理レジデントが学ぶべき医学知識

3.9 放射線腫瘍医学物理レジデントが学ぶべき放射線生物学の知識

おわりに

接頭語

参考文献

第3章 放射線治療物理レジデント訓練プログラムのガイドライン

3.1 はじめに

放射線治療物理は、がんを主とした疾病の電離放射線を用いた治療に関わる医学物理の専門分野である。臨床の場では、医学物理士は、物理の観点から患者に対する安全で正確な治療計画の遂行および治療の実施に対して責任がある。また、医学物理士は教育、研究、管理に関する役割も担っている。本稿の 3.5 項に、詳細な業務リストを示した。

3.2 放射線治療物理レジデント訓練プログラムの目的

放射線治療物理レジデント訓練プログラムの目的は、医学物理士が十分な知識と適切なレベルの臨床能力を身に着けるための教育であり、このプログラムで教育、訓練を受けた物理士が、就業前に臨床放射線治療物理の業務を単独で遂行できるレベルに到達することである。訓練は医学物理士業務への就業前、及び就業中の継続的なものの両方が必須である。これを達成するためには、適切に構成されたプログラム・施設、スタッフ、症例、教育環境を準備する必要がある。

3.3 必要とされる知識

本プログラムの修了生は CAMPEP で認定された大学院修了生と等しい領域の知識を獲得することになる。このため、本プログラムには認定カリキュラムによる医学物理大学院修了生を受け入れれば良い。認定されていない医学物理の大学院または物理系大学院の修了生は適切な医学物理の大学院コースまたは AAPM レポート 79 に基づいて構成された自習プログラムに参加することが望ましい。本プログラムのレジデントに対しては、定期的に医学物理の知識を評価することが極めて重要である。大学院プログラムを受講している場合は、定期試験に合格することが必須であり、自習者に対しては筆記または口頭試験に合格することが重要である。本プログラムのレジデントの受験資格は 3.6 項に記載されている。本プログラムのレジデントが修了時までには必ず身に付けなければならない事項を 5 章に記載し、学ぶべき放射線物理の知識、医学的な知識、放射線生物学の知識をそれぞれ 3.7 項、3.8 項、3.9 項に記載した。

3.4 放射線治療物理レジデントプログラムの構成と実施内容

3.4.1 訓練期間

大学院終了後、少なくとも 2 年間の臨床訓練が必要である (3.3 項参照)。訓練プ

プログラムは臨床施設の放射線腫瘍部門にある程度依存することになるが、最初の1年間は臨床放射線治療物理を広く経験できるようにすべきである。1年目の訓練の目的は、単独または複数メンバーによる管理や種々の臨床物理業務を訓練生に提供することにある。

2年目の訓練では、1年目の経験の上に、責任レベルの向上と治療装置・治療計画装置のコミッショニングなどの特別な項目などが追加される。強度変調放射線治療(IMRT)、定位手術的照射(SRS)、定位放射線治療(SRT)、全身照射(TBI)、電子線全身皮膚照射(TSET)、前立腺のシード線源治療(PSI)などの特殊治療法については、2年目に訓練されることが望ましい。この2年間に、臨床的な研究開発プロジェクトも訓練プログラムの一環として用意されることも重要である。また、必要に応じて適切な臨床訓練が関連病院で実施されるべきである。

3.4.2 施設指導責任者

施設指導責任者は放射線治療物理訓練プログラム全体に対する責任をもつ。施設指導責任者の業務は以下の5つである。

- (1) プログラムに十分な時間を使って関与し、適切な方向に導く。
- (2) 訓練プログラムの編成と指針に責任をもつと共に、レジデントを教育・指導する。
- (3) 訓練のために、設備、教育スタッフ、症例、教育的資料などを適切に用意する。
- (4) 物理レジデントの募集・採用に責任をもち、採用するレジデントが3.6項に記載された条件を満足することを確認する。
- (5) レジデントが訓練で成長することに責任をもち、万一十分な成長が成し遂げられない場合は適切な措置を適用する。

プログラム・ディレクタの条件は以下の3つである。

- (1) 認定の放射線治療分野の医学物理士であること。
- (2) 放射線腫瘍物理の専任の医学物理士としての7年以上の経験を有すること。
- (3) 当該訓練施設で放射線腫瘍物理を実施している認定された専任スタッフであること。

3.4.3 スタッフ

訓練プログラムは臨床放射線治療物理学、臨床放射線腫瘍学、放射線生物学を教える適切な人数のスタッフを用意しなければならない。教育スタッフは物理レジデントを教育・指導するために割り当てられた当該分野の専門家でなければならない。また、スタッフは教育プログラムに十分な時間と労力を費やす必要がある。スタッフが物理レジデント訓練プログラムに十分関与することが本

プログラムの成功につながる。スタッフは下記の学術的な活動に関与すべきである。

- (1) 地域的および全国的な学会への参加
- (2) 自分自身の生涯教育プログラムへの参加
- (3) 論文投稿や学会発表

スタッフには、少なくとも 2 名の専任の認定の医学物理士、少なくとも 1 名の専任の ABR 認定の放射線腫瘍医が含まなければならない。望ましくは、さらに専任の放射線治療品質管理士、放射線治療専門技師をスタッフに加えると共に、放射線生物学者から訓練を受けられる手段を用意することである。

3.4.4 訓練内容

放射線腫瘍物理の訓練内容には以下を含める必要がある：組織内または腔内照射、放射性医薬品、メガボルト外部照射、電子線照射、X線シミュレータ、CTシミュレータ、治療計画装置による線量計画、物理的治療計画、補助具の製作、放射線治療装置の出力測定および校正、安全管理手順。レジデントは 3.5 項に記載された臨床物理に関して深い知識をもつ必要がある。

訓練スタッフは系統的なコースに基づいてレジデントを教育すると共に、各レジデントが単独で放射線腫瘍学の全ての分野で臨床物理の手順を実施できることを確認する必要がある。レジデントは各自が実践した臨床物理プロトコールの詳細なリストを所持しておくべきである。このリストは定期的に施設指導責任者とプログラム運営委員会によりチェックされ、プログラムの外部チェックのために利用可能な状態にしておくべきである。

3.4.5 訓練生の人数

レジデントの人数は施設が適切な教育経験を与えられる規模に依存して決めるべきである。2 年の訓練を受けるレジデントの人数は、その施設の医学物理士の人数の半数を超えないことが望ましい。

3.4.6 訓練の評価

施設指導責任者はプログラムの継続的な評価および各レジデントの学習レベルと訓練成績の文書化に対する責任をもつ。継続的に学習の進捗を確認するために、レジデントは少なくとも隔週に異なる指導教官と順次、面談することが望ましい。また、月に一度、レジデントは施設指導責任者と面談することが望ましい。面談結果を適切に文書化することにより、レジデントの評価基準を標準化できる。各指導教官による訓練終了時に筆記試験を実施すべきである。さらに、少なくとも年に一度、訓練プログラムの運営委員会と教官による口頭試験

を実施して、レジデント訓練の成績と進捗を文書化すべきである。全ての評価結果をレジデントと議論し、議論の内容を記録すべきである。施設指導責任者は各レジデントの他施設における過去の訓練内容を記録し、本訓練プログラムの一部に充当することを検討すべきである。施設指導責任者はレジデントの訓練成績、学習能力、責任感、倫理観などに問題があると判断した場合は、所定の手続きを経て、レジデントを解雇する責任がある。

3.4.7 施設

臨床物理および訓練プログラムを実践するために必要な空間が用意されなければならない。臨床施設は以下の設備を備える必要がある。

- (1) 2 台以上のメガボルト治療装置があり、さらに 15MV 以上の光子線および電子線を照射できる装置があること。
- (2) X線シミュレータとCTシミュレータの両方あるいは、いずれかを利用できること。
- (3) 組織内照射および腔内照射用の小線源治療装置があり、特に高線量率アフターローディング装置を備えていること。
- (4) 計算機による治療計画装置および特殊な治療補助具の製作が可能であること。
- (5) イオン電離箱、ダイオード、TLDの校正とこれらを用いた線量測定が可能であること。

電子機器の製作設備や機械加工設備があることが望ましい。もし、上記のいずれかが利用できない場合は、本プログラムは他の認定施設で当該装置に関する訓練を実施する便宜を図らなければならない。

3.4.8 症例

放射線治療物理の訓練プログラムはレジデントの経験を深めるために、十分な数とがん種の症例を訓練のために準備しなければならない。外部照射と小線源治療の種々の治療に関してレジデントが十分な医学物理訓練を受けられるように、年間の新規患者数は十分多い必要がある。外部照射に関する年間新規患者数は 500 名以上必要であり、IMRT による治療を含む必要がある。小線源治療に関する年間新規患者数は 30 名以上必要であり、高線量率治療とシードインプラントの患者を含む必要がある。TBI や SRS などの特殊な治療症例もレジデントの訓練に必要な適切な数であるべきである。これらの特殊な治療が当該施設で実施できない場合は、他施設での実施をアレンジする必要がある。

3.4.9 施設の支援

放射線腫瘍物理の臨床訓練プログラムを実施している施設は患者・教育資源に加えて、予算と訓練場所に関して施設管理者の立場から支援しなければならない。会議室及び視聴覚設備が用意されなければならない。本プログラムを長期にわたり資金援助することが最も重要である。

3.4.10 教育環境

放射線腫瘍物理の臨床訓練は、同一施設の放射線腫瘍学レジデントプログラムに参加している放射線腫瘍医との間で、知識や経験について交流・交換できる環境で実施すべきである。

3.4.11 カンファレンス

カンファレンスや教育回診には訓練が進んだレジデントも参加すべきである。カンファレンスの日時とカンファレンスに出席したレジデント、放射線治療物理士、放射線腫瘍医、他のスタッフについて記録を残すべきである。部門内の新患カンファレンスを含む臨床腫瘍学カンファレンス、毎週のチャートレビュー、問題症例カンファレンス、物理・線量測定カンファレンスが必須である。がんの治療成績、放射線生物学、文献レビューのカンファレンスも含めなければならない。

3.4.12 図書館

放射線腫瘍物理と関連する腫瘍学および基礎科学に関する雑誌、参考図書、関係資料がレジデントの研究のために、容易にアクセスできるようにすべきである。レジデントに必須の雑誌、参考図書、関係資料の全リストは、AAPMLレポート79に掲載されている。物理レジデントは医学図書館に自由にアクセスできる必要がある。さらに、インターネット上の教育資源にもアクセスできる環境を準備しなければならない。

3.5 放射線腫瘍学に関わる医学物理士が必ず身に付けるべき専門能力

この章に記載された事項は放射線腫瘍学に関わる医学物理士が必ず身に付けなければならない事項である。

専門能力は責任を任される以下の主要分野で示さなければならない。

- (1) 治療装置の校正
- (2) 線量測定および計算
- (3) 治療計画装置を用いた治療計画
- (4) 治療計画装置を用いない治療計画
- (5) 治療補助具の設計・製作

- (6) 計画および治療に用いるハードウェアとソフトウェアの受け入れ試験・コミッショニングを含む品質保証
- (7) 放射線治療全体の精度に関する不確定性の見積とリスク管理
- (8) 放射線腫瘍医、放射線腫瘍医レジデント、医学物理士、医学物理レジデント、放射線治療品質管理士、技師、他のスタッフの訓練
- (9) 保健専門家および一般人に対する放射線治療物理と放射線の影響に関わる啓蒙活動
- (10) 患者への治療内容の説明

放射線治療物理に関する臨床的・基礎的な研究能力および新しい治療法・治療装置に対する対応能力も重要である。以下に上述した各専門能力について詳細に記載する。

3.5.1 治療装置

メガボルト光子線(リニアック、コバルト 60)装置、電子線装置、キロボルト装置

A. 選定

- 1. 性能・仕様
- 2. 特徴比較
- 3. 機械的・構造的考慮
- 4. 性能試験計画

B. 放射線防護

- 1. 部屋の設計、遮蔽計算
- 2. 所轄官庁及び都道府県による許可
- 3. 建設の監督と施設計画
- 4. 放射線測定：低エネルギー装置(4–6 MV) と高エネルギー装置(15–25MV).

C. 受け入れ試験、コミッショニング

- 1. 機械試験、安全性試験、放射線試験
- 2. 治療計画データ

D. 校正

- 1. 計測系とファントム
- 2. X線 (プロトコール: AAPM TG 21, TG 51, TG 61)
- 3. 電子線 (プロトコール: AAPM TG 51, TG 25)

E. 品質保証

- 1. 毎日
- 2. 毎週、毎月
- 3. 毎年

4. 推奨される手順 (AAPM TG 40)

3.5.2 従来型のシミュレータ (X線透視)

A. 選定

1. 性能・仕様
2. 特徴比較
3. 機械的・構造的考慮
4. 性能試験計画

B. 防護、設計、構造

1. 壁、天井、床
2. 制御エリア
3. 暗室
4. 部屋内の放射線計測
5. 規則：国、都道府県、施設内

C. 受け入れ試験

1. 機械試験
2. 画像の品質と特性
3. 線量

D. 品質保証

1. 機械、放射線
 2. X線透視
 3. 処理装置
- E. 透視技術

3.5.3 CT シミュレータ (AAPM TG 66)

A. 選定

1. 性能・仕様
2. 特徴比較
3. 機械的・構造的考慮
4. 性能試験計画

B. 防護、設計、構造

1. 壁、天井、床
2. 制御エリア
3. 暗室
4. 部屋内の放射線計測
5. 規則：国、都道府県、施設内

- C. 受け入れ試験
 - 1. 診断用画像品質試験
 - 2. 線量計算
 - 3. 幾何学的試験 (DRR など)
 - 4. ネットワーク試験
- D. 品質保証
 - 1. 幾何学的確度
 - 2. イメージング
 - 3. ネットワーク
- E. CT プロトコール

3.5.4 患者の治療

- A. 治療技術
 - 1. コプラナー照射
 - 2. ノンコプラナー照射 (3-D)
 - 3. イメージガイド下治療
 - a. CT
 - b. MRI
 - c. PET
 - d. 超音波
 - e. 画像位置あわせ、画像フュージョン
 - 4. 治療部位に依存する技術
 - a. 乳房
 - b. 中枢神経系
 - c. 泌尿器 (GU)
 - d. 婦人科 (GYN)
 - e. 消化管 (GI)
 - f. 頭頸部
 - g. リンパ腫
 - h. 悪性黒色腫
 - i. 小児
 - j. 骨、軟部肉腫
 - k. 呼吸器
- B. 治療計画
 - 1. 患者セットアップ、固定、位置合わせ
 - 2. ターゲット輪郭抽出 (X線透視、CTシミュレーション)

3. カスタムブロック、マルチリーフコリメータ
4. 計算機を用いた等線量線図の生成

C. MU 計算

1. SSD と PDD
2. SAD
 - a. TAR
 - b. TMR
 - c. TPR
3. SSD の拡張
4. 中心軸以外の座標
5. 不均質補正
6. 補償フィルタ
7. 非対称コリメータ
8. コリメータ散乱係数 S_c 、ファントム散乱係数 S_p
9. ダイナミックウェッジ
10. バーチャルウェッジ

D. 品質保証

1. 治療計画の検証
2. 治療記録の検証
3. MU 計算の再確認
4. 患者位置決め
 - a. 超音波 (US)
 - b. 電子ポータルイメージング (EPID)
5. ポータル画像 (フィルム, EPID, CR)
6. 補償フィルタ、field-in-field 技術
7. MU 計算
8. 情報処理装置へのデータ入力と完全性
9. 記録・検証システム
10. 致死線量と心臓ペースメーカー
11. 治療ビーム照射結果の検証
12. 体内線量測定

E. 特殊な照射

1. TBI
2. 電子線全身皮膚照射 (TSET)
3. 術中照射 (電子線)
4. 小照射野

- a. SRS
- b. SRT
- 5. 電子線アーク照射
- 6. 補償フィルタ
- 7. ボーラス、ビームスポイラ
- 8. 呼吸性移動を考慮した治療計画と照射
- F. 治療計画装置
 - 1. データ取得
 - 2. 受け入れ試験
 - 3. 品質保証
 - 4. 計算アルゴリズム
 - 5. 治療技法
 - 6. 規格化
 - 7. 不均質補正
 - 8. ビームモデリング
 - 9. データ転送
- G. 患者の安全
 - 1. 機械的
 - a. ブロック、トレイ
 - b. 寝台
 - c. ガントリと患者の干渉
 - d. アクセサリ
 - 2. 電氣的
 - 3. オゾン
 - 4. セロベンド
- H. 放射線治療の精度に関する不確定性の見積とそれらの管理

3.5.5 放射線の安全性

- A. 規則、勧告、許可
 - 1. 国、州、地域
 - 2. 核規制委員会 (NRC)
 - 3. 放射性医薬品の製造及び取扱規則 (ALARA)
 - 4. 健康管理機構公認共同委員会 (JCAHO)
 - 5. 放射線安全委員会
 - 6. ACR の推奨
- B. 放射線計測装置 (イオン電離箱, GM 管, シンチレータ)

1. 校正
 2. 定期的品質保証
 3. 特性
- C. 個人線量モニタ
1. バッジ（フィルム, TLD）
 2. その他（ポケット, chirper, など）
 3. レポートと評価
- D. 各スタッフに対するガイドラインと指針
1. 技師、放射線治療品質管理士
 2. 他のスタッフ（看護師, 保守エンジニア）
 3. レジデント医師（放射線腫瘍医、ほか）
 4. 医学部学生
- E. 低レベル放射線事故

3.5.6 IMRT

- A. インバースプランニング
1. 評価関数
 2. 最適化
- B. IMRT の照射
1. Tomotherapy
 2. スライディング・ウィンドウ
 3. ステップ・アンド・シュート
- C. IMRT の品質保証
1. 強度マップ
 - a. MLC 位置の確度
 2. ファントムによる計画と照射
 3. 等線量線の検証
 4. 照射の検証と不確定性の把握
- D. 放射線の安全性
1. 漏洩線量
 2. 部屋の遮蔽

3.5.7 小線源治療

- A. 核種
1. 密封線源
 2. 非密封線源

- B. 密封線源
 - 1. 形態、構造
 - 2. 放射能
 - 3. 防護、保管、取り扱い
 - 4. 標準化、校正
 - 5. 放射能のチェック
 - 6. 漏洩チェック
 - 7. 許可
 - 8. 最も適切なサーベイメータ
- C. 放射線防護
 - 1. 遮蔽設計
 - 2. 放射線計測
 - 3. 個人用放射線バッジ
 - 4. 郵送と受領
 - 5. 小線源を体内挿入された患者
- D. 臨床適用
 - 1. 線源の選択
 - 2. アプリケーターの選択
 - a. 低線量率 (LDR)
 - b. 高線量率 (HDR)
 - 3. 放射能レベルの考慮
 - 4. 防護 (スタッフ, 訪問者)
 - 5. 必要な手順
- E. 治療計画
 - 1. 線源間隔
 - 2. 放射能レベル
 - 3. 線量率と線量計算式
 - 4. 線源の位置決め
 - 5. 計算機を用いた計画
- F. 品質保証 (QA)

3.5.8 検出器と線量計

- A. イオン電離箱
 - 1. 円筒状
 - 2. 平行平板
- B. TLD

- C. ダイオード
- D. フィルム
- E. その他の半導体検出器

3.5.9 画像診断

- A. CT
 - 1. 走査技術
 - 2. 幾何学的な確度
 - 3. CT値電子密度変換テーブル
 - 4. 4次元CT
- B. MRI
 - 1. 走査技術
 - 2. 幾何学的な確度
 - 3. MRI-CT フュージョン
- C. 超音波
 - 1. 走査技術
 - 2. 腫瘍の位置決め
- D. PET
 - 1. 走査技術
 - 2. 腫瘍の位置決め
 - 3. イメージフュージョン
- E. PACS
 - 1. DICOM
 - 2. DICOM RT

3.5.10 その他の義務

- A. 教育
 - 1. 講義、指導
 - 2. セミナ、論文紹介
- B. 開発的研究
 - 1. 治療技術
 - 2. 治療補助具
 - 3. 計算技術
 - 4. 線量測定技術
 - 5. 装置の性能評価
 - 6. 照射システム

7. 患者位置決め装置
8. その他

C. 管理

1. 個人の管理（スタッフモデル）
2. 予算（請求）
3. 法的な活動
4. 専門学会活動
5. 専門家の責任
6. FDA／医療機器の安全性

3.6 放射線治療物理レジデントの条件

3.6.1 学位

以下のいずれかの修士号または博士号を取得していること。

- A. CAMPEP 認定の医学物理コース
- B. 未認定の医学物理コース, 物理学コース
- C. 物理学コース
- D. 物理学に密接に関与する分野のコース

3.6.2 履修内容

応募者は学部または大学院で以下の分野に関する教育を受けたこと

- A. 基礎物理学
- B. 高等数学
- C. 原子核物理学
- D. 電子工学
- E. 計算機工学
- F. 物理化学
- G. 統計学

3.6.3 基礎知識

医学物理の大学院コースの修了者はガイドラインの最低レベルの知識を持っていること。物理学またはそれに深く関係する分野の大学院コース修了者は上記知識をレジデント訓練の一部として取得することを期待されている。具体的には以下の分野を含む。

- A. 放射線物理
- B. 放射線線量計測
- C. 放射線測定と測定器

- D. 放射線防護
- E. 画像診断原理
- F. 放射線生物学
- G. 人体の解剖、生理学
- H. 臨床放射線診断、放射線腫瘍学の基礎
- I. 臨床研究における統計

3.7 放射線治療物理レジデントが学ぶべき放射線物理の知識

3.7.1 放射線

A. 放射線の性質

- 1. 比電離
- 2. 1イオン対の生成に必要なエネルギー値 (W 値)
- 3. 線エネルギー付与 (LET)

B. 重粒子とパイ中間子の反応

- 1. ブラッグピーク
- 2. 放射線治療の可能性

C. 電子の反応

- 1. 電子との相互作用
- 2. 核との相互作用
- 3. 放射線治療への応用

D. 中性子の反応

- 1. 熱中性子の反応
- 2. 高速中性子の反応
- 3. 放射線治療への応用

3.7.2 高エネルギー放射線治療にかかわる装置

- A. コバルト装置
- B. バン・デ・グラフ装置
- C. リニアック
- D. ベータトロン
- E. 共振トランス
- F. 中性子治療用サイクロトロン

3.7.3 照射線量の測定

- A. X線、エネルギーフラックス密度、フルエンス
- B. レントゲン (単位)

- C. 電子平衡
- D. 電離箱
 - 1. 自由空気電離箱
 - 2. 指頭型電離箱
 - 3. コンデンサ型電離箱
 - 4. 外挿式電離箱
 - 5. 平行平板型電離箱
- E. X線、ガンマ線の照射線量校正
 - 1. 校正変数の選択
 - 2. 電離箱の選択
 - 3. 電離箱の位置決め
 - 4. 電位計
 - 5. 測定値の補正
- F. 測定誤差の見積
- G. 放射線治療装置のQ A

3.7.4 線質

- A. 線質の測定
 - 1. 半値層 (HVL) と実効エネルギー
 - 2. 半値層 (HVL) の測定
- B. 線質を決める因子
 - 1. ビーム位置による線質の変動
 - 2. エネルギーのフィルタリングと加速電位

3.7.5 吸収線量の決定

- A. 線量と線量当量の単位
- B. 照射線量から吸収線量を計算
- C. 電離箱による吸収線量の測定
 - 1. ブラッグ・グレイの空洞理論
 - 2. スペンサ・アティックスの空洞理論
- D. 吸収線量の直接測定
 - 1. フィルム
 - 2. TLD
 - 3. 熱量計
 - 4. 化学線量計

3.7.6 高エネルギーX線、電子線の校正

A. X線

1. 阻止能比、エネルギー変換係数、エネルギー吸収係数
2. AAPM TG 51 プロトコール

B. 電子線

1. AAPM TG 51 プロトコール

3.7.7 線量分布：外照射

A. 線量に関する変数

1. 後方散乱ファクタ (BSF) 、ピーク散乱ファクタ (PSF)
2. PDD
3. TAR
4. SAR
5. TMR、TPR
6. 等線量線
7. 治療時間、MU計算
8. SSD固定治療とSAD固定治療
9. コリメータ散乱係数 S_c 、ファントム散乱係数 S_p

B. 単一および複数の照射野による線量分布

1. ウェッジによる線量分布(物理ウェッジ、モータ駆動ウェッジ、ダイナミックウェッジ、バーチャルウェッジ)
2. 補償フィルタの設計
3. 体表形状の補正
4. 不均質補正
5. 境界における線量の変動
6. 照射野の結合
7. 計画の評価
 - a. 積分線量
 - b. DVH
 - c. TCP
 - d. NTCP

C. 回転照射における線量分布

D. 不整形大照射野における線量計算

E. 電子線治療計画

F. 線量計算の不確定性に関する見積

3.7.8 密封線源による線量分布

- A. 密封線源の取り扱い
- B. 体内挿入された密封線源による線量分布
- C. 密封線源の体内挿入計画
- D. ラジウムと代替線源
- E. Ir-192、I-125 に関する特別な技術
- F. 治療用のその他の密封線源
- G. 体内挿入方式：組織内、体腔内
- H. 高線量率装置 (HDR)

3.7.9 外照射装置に関する放射線防護

- A. 考え方と単位
 - 1. 線質係数
 - 2. 線量当量
 - 3. 防護規則
- B. 治療室の設計
 - 1. 一次放射線
 - 2. 散乱
 - 3. 漏洩
 - 4. 高エネルギーX線、電子線に関する特別な問題
- C. 密封線源の保管
- D. 防護のための計測
- E. 個人線量モニタ
- F. 体内刺入：組織内、体腔内

3.7.10 非密封線源の放射線防護

- A. 体内被曝と注意臓器
 - 1. 最大許容体内被曝
 - 2. 体内での実効半減期
- B. 体内線量分布の計算
 - 1. 局所吸収線量
 - 2. 体外への放射線
- C. 小線源治療中の患者の取り扱い
- D. 放射性物質の取り扱い認可

3.8 放射線腫瘍物理レジデントが学ぶべき医学知識

3.8.1 医学用語

3.8.2 解剖学、生理学

以下は各がん腫において学習すべき項目である。

3.8.3 がんの疫学(性別、年齢、職業、地域などの影響)

3.8.4 病理分類

- A. 各病理型とその割合
- B. 組織型による放射線感受性の差異

3.8.5 がんの原発部位

- A. 領域解剖
- B. 疾患毎の罹患率
- C. 臨床症状と身体的所見
- D. 原発巣の診断方法

3.8.6 リンパ節転移

- A. 進展についての検討
- B. 転移部位とその割合

3.8.7 遠隔転移

- A. 進展様式
- B. 転移部位とその割合
- C. 転移の診断

3.8.8 病状の進展

- A. 臨床病期とその分類
- B. 病理学的病期分類
- C. 病状の進展による診断方法の差異
- D. 病状の進展による治療方法の差異
- E. がんの自然史

3.8.9 合併症による治療への影響

- A. 解剖学的考察
- B. 病理学的考察

- C. 生理学的考察
- D. 合併症の評価法

3.8.10 がんの治療方法

- A. 外科的切除
- B. 放射線療法
- C. 化学療法
- D. 上記の組み合わせ
- E. 免疫療法
- F. 温熱療法
- G. 他の治療修飾因子

3.8.11 治療適応：転移性腫瘍

- A. リンパ節の局在
- B. リンパ節の進展
- C. 治療法の決定

8.12 放射線測定と治療計画

- A. 測定法の可能性
- B. 測定機器の使用
- C. 治療計画技術
- D. 適切な線源と核種

3.9 放射線腫瘍医学物理レジデントが学ぶべき放射線生物学の知識

3.9.1 放射線反応に影響を与える因子

- A. 酸素効果
 - 1. 酸素濃度の影響
 - a. OER
 - 2. 酸素が影響する時期
 - 3. 酸素効果の作用機序
 - 4. 放射線治療の意義
 - 5. 低酸素細胞に対する問題解決策
- B. 潜在的致死損傷 (PLD)
 - 1. in vitro における修復
 - 2. in vivo における修復
 - 3. PLD と高 LET 放射線照射

4. 放射線治療の意義
- C. 亜致死損傷 (SLD)
1. in vitro における細胞への線量分割照射
 2. 正常細胞における亜致死損傷回復
 3. 腫瘍細胞における亜致死損傷回復
 4. 亜致死損傷と低酸素濃度
 5. 亜致死損傷と高 LET 放射線照射
 6. 回復指標としての DQ
 7. アポトーシス
- E. 線量率
1. in vitro 細胞に対する線量率効果
 2. 正常細胞に対する線量率効果
 3. 腫瘍細胞に対する線量率効果
 4. 組織内放射線治療
 5. 低線量率放射線治療

3.9.2 線エネルギー付与 (LET)

- A. 定義
- B. トラックと平均エネルギー
- C. 線種と LET
- D. OER の LET 依存性

3.9.3 酸素効果比 (RBE)

- A. 定義
- B. RBE の細胞、組織依存性
- C. RBE の線量依存性
- D. RBE と分割照射
- E. RBE の LET 依存性
- F. 線質係数 (QF)

3.9.4 細胞の放射線感受性

- A. 放射線病理学に基づいた分類
- B. 細胞集団のタイプ
 1. 自己複製
 2. 条件付複製
 3. 幹細胞

4. 分化

3.9.5 線量の時間特性、分割照射

- A. 放射線生物学における4つのR
- B. 分割照射の基礎
- C. スtrandキスト・プロット
- D. 公称標準線量

3.9.6 他の放射線を用いた装置

A. 陽子線

- 1. 生成
- 2. 吸収過程
- 3. 深部線量分布
- 4. X線に対する優位性
- 5. 利用可能な施設

B. 中性子

- 1. 生成
- 2. 吸収過程
- 3. 深部線量分布
- 4. X線に対する優位性
- 5. 利用可能な施設

C. パイ中間子

- 1. 生成
- 2. 吸収過程
- 3. 深部線量分布
- 4. X線に対する優位性
- 5. 利用可能な施設

D. 重粒子

- 1. 生成
- 2. 吸収過程
- 3. 深部線量分布
- 4. X線に対する優位性
- 5. 利用可能な施設

3.9.7 放射線と併用する化学療法剤

A. 抗生物質

- B. アルキル化剤
- C. 代謝拮抗剤
- D. 植物アルカロイド
- E. 他の合成薬剤

3.9.8 発がん

- A. 潜伏期間
- B. 動物における線量応答曲線
- C. 白血病
- D. 乳がん
- E. 甲状腺がん
- F. 骨腫瘍
- G. 皮膚がん
- H. 肺がん
- I. 他の腫瘍
- J. 胎児被曝による発がん
- K. 放射線発がんの発生メカニズム

3.9.9 胎胚と胎児の成長過程における放射線影響

- A. 胎児死亡
- B. 新生児死亡を含む先天異常
- C. 発育遅延
- D. 放射線影響の線量、線量率、妊娠期依存性
- E. 子宮被曝後の発がん
- F. 治療線量を被曝した妊娠婦人の経験
- G. 妊娠可能性がある婦人への職業被曝
- H. 治療のための実際的な線量閾値

3.9.10 人体組織の放射線生理学

- A. 皮膚照射の影響
 - 1. 臨床的発現
 - 2. 組織学的変化
 - 3. 修復
 - 4. 晩発反応の程度
 - 5. 損害影響
- B. 骨と軟骨への放射線影響

1. 成長期の骨と軟骨への影響
 2. 成人の骨と軟骨への影響
 3. 臨床的発現
 4. 組織学的変化
 5. 機能への影響と晩発反応
- C. 腎臓への放射線影響
1. 臨床的発現
 2. 組織学的変化
 3. 急性、晩期機能障害
 4. 不可逆的な晩発反応
- D. 肺への放射線影響
1. 急性反応
 2. 累積反応
 3. 組織学的変化
 4. 影響を低減するための指標
 5. 晩発反応
- E. 神経系への放射線影響
1. 脳への影響
 2. 脊髄への影響
 3. 末梢神経への影響
 4. 臨床的発現
 5. 組織学的変化
 6. 晩発反応
- F. 卵巣への放射線影響
1. 臨床的発現
 2. 組織解剖学的影響
 3. 影響の可逆性
 4. 治療の意義
- G. 精巣への放射線影響
1. 臨床的発現
 2. 組織学的変化
 3. 影響の可逆性
 4. 防護指標
- H. 眼への放射線影響
1. 臨床的発現
 2. 組織学的変化

3. 防護指標
 4. 線量時間特性
 5. 晩発反応
- I. リンパ組織への放射線影響
 1. 臨床的発現
 2. 組織学的変化
 3. 影響の可逆性
 - J. 骨髄への放射線影響
 1. 臨床的、実験的発現
 2. 時間効果
 3. 組織学的変化
 4. 回復
 5. 治療への応用
 - K. 口腔、咽喉頭、食道粘膜への放射線影響
 1. 臨床的発現
 2. 組織学的変化
 3. 回復
 4. 晩発反応
 - L. 唾液腺への放射線影響
 1. 急性反応
 2. 組織学的変化
 3. 歯牙への有害反応
 4. 予防法
 - M. 放射線治療で生じる有害事象
 1. 技術的な予防
 2. 総線量が及ぼす意義
 3. 線量分割が及ぼす意義
 4. 回避するための指標
 5. 治療指標
 - N. ヒト胚芽への放射線影響
 1. 月齢による差
 2. 線量による差
 3. 催奇形影響
 4. 防止指標

おわりに

臨床医学物理訓練プログラムのゴールは、医学物理士を訓練することにより、医学物理の3つの柱の1つに対して一人で実践できる知識と能力を獲得させることである。本邦では今までの医学物理士のレジデント訓練プログラムはなく、このカリキュラムは欧米訓練プログラムを参考に作成したものである。おそらく医学物理士がこのレポートのすべての分野に精通するには数年の年月が必要であろう。したがって、訓練プログラムの修了生が必ず習得すべき知識・作業手順・能力を5章に、なるべく習得することが望ましいもの7から9章に分けて記述した。各訓練施設が、ここに述べられた最小限の必須要件を満足するプログラムを編成することにより、修了生が所定のレベルに到達することを信じるものである。複数の施設が協力してこれらの最小限の必須要件を満足させることも有効である。

放射線腫瘍物理レジデントに対する訓練プログラムの必須要件は以下である。

- (1) 2名以上の専任の認定医学物理士（放射線腫瘍物理教官）
- (2) 1名以上の訓練を支援する学会認定放射線腫瘍医
- (3) 2種類以上のエネルギーのX線と電子線照射が可能なりニアック2台以上
- (4) 先進の治療計画装置
- (5) 外部照射について、年間治療患者数500名以上で、100x例以上のIMRTを含むこと。
- (6) 小線源治療について、年間治療患者数30名以上。