

日本医学放射線学会医学物理教育カリキュラムガイドライン

1. 放射線治療分野における医学物理教育カリキュラムガイドラインの発行にあたって

(1) はじめに

日本においては、質の高いがん専門医等を養成し得る内容を有する優れたプログラムに対し財政支援を行うことにより大学の教育の活性化を促進し今後のがん医療を担う医療人の養成推進を図ることを目的として 2007 年に文部科学省は「がんプロフェッショナル養成プラン」をスタートさせ、国公私立大学により申請されたプログラムの中から 18 プログラムを選定した。選定されたプログラムには多くの医学物理士養成コースが含まれ、それぞれ独自の養成カリキュラムが準備されている。しかしながら 2008 年現在医学物理士養成を目標とした、大学院、レジデントの系統立った教育カリキュラムの指針は確立していない。医学物理には放射線診断、核医学、放射線治療などの分野があるが、近年の放射線治療技術の進歩により、放射線治療分野の医学物理士の育成が特に急務である。本ガイドラインの目的は、放射線治療分野の医学物理士の育成と資質の向上を目指した、大学院教育カリキュラム、大学院修了生に対するレジデント訓練カリキュラムのガイドラインを定めることである。放射線診断分野、核医学分野の医学物理士の育成については別途ガイドラインを定めるものとする。

(2) 医学物理教育カリキュラム整備のための時間的配慮

医学物理教育カリキュラムを構築するにあたり、影響する因子として次の項目がある。

医学物理士養成のための指導者の不足

医学物理士養成のための施設・設備の不足

指導者や教育施設の不足は教育カリキュラムの整備と密接に関わっており、教育カリキュラムの段階的な充実が最善と考えられる。そのため、時間スパンを 5 年単位と設定し 10 年間で目標水準を達成するよう計画した。

初期段階（初年度から 5 年目まで）

中期段階（6 年目から 10 年目まで）

目標到達段階（11 年目以降）

(3) 初期段階

前述のような背景のため、カリキュラム内容を厳選し教育することが望まれる。理学あるいは工学部の大学院との連携、医学部間での学科あるいは大学を超えた連携、医療施設との教育連携もカリキュラムを決定する上で重要である。

(4) 中期段階

初期段階を経てレジデント教育を受けた医学物理士を指導者に組み入れ、カリキュ

ラム充実を図る。最終的には日本の現状に相応した基準を定め、このカリキュラム基準に適合した施設を医学物理士養成施設として認定する。

(5) 目標到達段階

前述のカリキュラム基準は、AAPM Report 79 の推奨とほぼ同等の基準であるが、教育者や設備に関して若干の条件緩和を加えている。この時期には、新たな治療技術に対する対応を含めた基準の見直しを検討する必要があるであろう。

(6) 理工系学部出身者に対する大学院修士課程

理工系学部出身者には医学に関する教育が行われていないため、特に解剖学、放射線生物学、放射線治療学、(放射線診断学、核医学)が重要である。理学系や工学系の大学院が医学部と連携しカリキュラムを立てる場合も同じ基準である。教育期間が限定されるため、臨床研修を大学院プログラムの課程内に含めることは一般的に考えない。したがって、医学物理士としては臨床研修を課程修了後に行うことが望まれる。

(7) 理工系出身者に対する大学院博士課程

本邦でも、AAPM Report 79 が推奨する基準の知識および臨床経験を基準とする。従って、大学院教育カリキュラムガイドラインの項目をほぼ網羅した講義科目の設定が望ましい。理学系や工学系の大学院と連携して博士課程を設置する場合にも、講義科目設定が認定の基準となる。

(8) 医療技術系学部出身者に対する大学院修士課程

医療技術系学部出身者には、物理系の教育が十分に行われていないため、理学系や工学系の大学院との連携などで指導者を確保する必要がある。医学系の科目に関しては、保健学科と医学科の連携では大学院修士課程が有る場合は該当する科目の履修連携で対応が可能と思われるが、保健学科学部教育科目を当てる場合には注意が必要と思われる。教育期間が限定されるため、臨床研修は大学院プログラムの課程内に含めることは一般的に考えない。したがって、医学物理士としては臨床研修を課程修了後に行うことが望まれる。

(9) 医療技術系出身者に対する大学院博士課程

本邦でも、AAPM Report 79 が推奨する基準の知識および臨床経験を基準とする。従って、物理系科目の教育を充実させる必要がある。理学系や工学系の大学院と連携して博士課程を設置する場合にも、講義科目設定が認定の基準となる。

(10) 大学院修了生に対するレジデントコース

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、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。

(1 1) 生涯教育

医学物理分野の知識は多岐に渡り、治療技術は急速に進歩している。そのため、医学物理士がその資質を維持し向上させるためには定期的な生涯教育の場が必要である。

(1 2) 認定委員会

プログラムの申請および認可の管理に対して日本医学放射線学会医学物理士委員会は責任を持つ。医学物理士委員会の中から調査チームを任命し、申請内容の精査を行い認可する。CAMPEP 委員会と同じ役割を持つ。

2. 放射線治療分野に関する医学物理教育カリキュラムガイドライン (別紙 1)

3. 大学院修了生に対する放射線治療物理レジデント訓練カリキュラムガイドライン (別紙 2)

このガイドラインについての問い合わせは下記の連絡先である。

〒113-0033 東京都文京区本郷5丁目1番16号 NP-ビル3階
社団法人 日本医学放射線学会事務局
TEL:03 - 3814 - 3077、FAX:03 - 5684 - 4075

(別紙1)

医学物理士大学院教育カリキュラムガイドライン

1. はじめに

医学物理は、放射線の適切な医学利用に欠く事が出来ない学問分野であり、近年の技術革新に伴い、より広範で深遠な学問分野となって来ている。本邦では今までその系統立った大学院教育カリキュラムがなかったが、医学物理の進歩に伴い、その専門家を育成するための教育内容も進展し、教育のガイドラインを設定する必要性が生じて来た。

医学物理には、放射線治療、放射線診断、核医学、保健物理の分野がある。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り、本邦ではこの分野の医学物理士の需要が高まって来ている。ここでは放射線治療分野の大学院教育カリキュラムについて記載した。つまり、放射線治療分野で修士号や博士号を取得し、医学物理学トレーニングプログラムを経て、その後医学物理士を目指す学生に適した最小限のカリキュラムへのガイダンスである。放射線治療分野およびその分野周辺の専門的で特殊領域について整理されている。特に最近のこれらの放射線治療分野での広がりやその奥深さにおいては、急速に劇的進展を遂げている。このような状況においては、このガイドラインは大学院教育を行う指導者に必要な文書である。このガイドラインは放射線治療分野での医学物理士について述べていて、診断領域や核医学分野の医学物理士については別にガイドラインを定める。

この分野での修士号および博士号取得目的の学生にとって、明確な受けるべき教育内容の指標が必要である。このカリキュラムガイドラインでは、すべての医学物理の修士課程および博士課程の学生に共通する科目と、放射線治療物理に特化したより専門性の高い科目を分けて記載されている。共通科目は専門科目の基礎となるものであり、たとえば、相互作用に関する基礎物理はどの分野に対しても重要である。共通科目として放射線物理、線量測定、放射線防護、放射線生物学、解剖学、生理学と最近の進歩をカバーする一連の特別共通科目がある。特別科目としては計算機技術、医学倫理、統計学、防護を挙げた。現在の臨床研究の場では、医学物理士にとって生物統計、医療情報、医学倫理が重要になっている。放射線治療においては、治療方法ごとの科目と治療装置ごとに分かれた履修科目がある。ここに示されたすべての教育材料を学習させることを想定しており、さらに、訓練をより拡張し、他の専門分野の履修科目もプログラムに組み入れることも想定している。このガイドラインを読むことにより、現在の放射線治療分野の医学物理士に必要なとされている最小限の履修科目を再確認することができる。

実践的な医学物理士を目標にするものにとっては、最新の臨床や研究での課題を学ぶ環境は欠かすことはできない。必修共通科目は放射線物理学、線量計測学、保健物理学、放射線生物学、解剖学、生理学であり、特別科目としては計算機技術、医学倫理、統計学、防護などである。前者は医学物理士が多くのコメディカルに対する

医学物理学トレーニングを行うためにも必要なものである。後者はすべての医学物理士に必要ではあるが、それほど包括的でないレベルまでの知識的基礎を含んでいる。しかし、最近では医学倫理と統計学は、徐々により深い水準まで必要とされるようになった。これからの数年間に、日本医学放射線学会（JRS）医学物理士委員会では、これらの分野の必要性をモニターし検討していく予定である。

これらの共通科目および特別科目のほかに、画像診断学および放射線治療学に関する一連の履修科目がある。画像科学においては、モダリティごとの科目に加え、逆問題・信号処理などの共通技術に関する科目があり、放射線治療においては、治療方法ごとの科目と治療装置ごとに分かれた履修科目がある。いずれの専門分野においても、望ましい教育目標に到達するように、トピックを結合したり、トピックを再配置したり、他の手段を動員したりしてトレーニングプログラムのカリキュラムを整備することも必要かもしれない。

臨床トレーニングカリキュラムに向かうための各教育機関の最小限のカリキュラムが、現在の医学物理士の必要性を満足しているということを保証するために、このガイドラインは必要である。ガイドラインは、これらの大原則を具体化するために、JRS 認可のための基礎的役割を持っている。医学物理士になるためには、最終的には臨床環境でのトレーニングが必要である。大学院課程中に臨床トレーニングが行われていれば、医学物理士認定試験受験後の認定資格取得に繋がるが、臨床トレーニングを課程内に含むことは一般的に困難で、学位取得後に適切な臨床トレーニングが必要である。臨床トレーニングについてはレジデントガイドラインに詳細に述べられている。

このガイドラインに基づいた医学物理士大学院課程終了により、医学物理士として臨床業務に従事できる能力、医学物理士教育の能力、放射線科レジデント医師への放射線物理教育の能力、放射線治療などの分野における研究能力、コメディカルスタッフへの教育の能力、などが培われるよう教育カリキュラムを設定する必要がある。

2．大学院教育カリキュラム整備ための時間的配慮

大学院教育カリキュラムを構築するにあたり、影響する因子として医学物理士養成のための指導者の不足と医学物理士養成のための施設・設備の不足がある。上述の因子のなかで特に養成のための指導者不足は大学院教育カリキュラムに大きな影響を与える。この状況では、大学院教育カリキュラムの段階的な充実が最善と考えられる。そのため、時間スパンを5年単位と設定し10年間で目標水準を達成するように以下の3つの期間を設定しカリキュラムの設定を行う必要がある。初期段階（初年度から5年目まで）：基本的必須項目を含め概ね目標到達段階の50%の達成を目指す。中期段階（6年目から10年目まで）：基本的必須項目を含め概ね目標到達段階の70%の達成を目指す。目標到達段階（11年目以降）：100%の達成を目指す。

初期段階においては前述のように指導者不足のため、カリキュラム内容を厳選し教

育することが望まれる。また理学部や工学部の大学院と連携し、カリキュラムを決定することも必要である。中期段階においては、初期段階を経てレジデント教育を受けた医学物理士を指導者として組み入れ、カリキュラム充実を図る必要がある。最終的には日本の現状に相応した基準を定め、このカリキュラム基準に適合した施設を医学物理士養成施設と認定する。目標到達段階において、カリキュラム基準は、AAPM Report 79 の推奨とほぼ同等の基準を目標としている。

3．修士課程

理工系学部出身者では医学に関する既履修科目がないため、特に解剖学、放射線生物学、放射線治療学、放射線診断学、核医学の科目は不可欠で、表1に示した。各教育機関の講義科目設定が施設認定の基準となる。理学系や工学系の大学院と連携しカリキュラムを立てる場合も同じ基準である。保健学科との連携では大学院修士課程が有る場合は該当する科目の履修連携で対応が可能と思われるが、保健学科の学部教育科目を当てる場合には注意が必要と思われる。授業科目名の設定は自由であるが、表1にリストアップされ、必要科目が示されている。その設定された科目には、表3に示された項目を含まなければならない。実習（演習）科目については表4に示された項目を含まなければならない。ただし、臨床トレーニングは大学院プログラムの課程内に含めることは専門職大学院の修士課程を除けば一般的に考えない。したがって、医学物理士の資格認定のためには臨床トレーニングを課程終了後に行う必要がある。

4．博士課程

わが国においても、AAPM Report79 が推奨する基準と同等の知識および臨床トレーニング経験を必要とし、AAPM Report79 の項目をほぼ網羅した講義科目の設定が望ましい。理学系や工学系の大学院と連携して博士課程を設置する場合にも、修士課程と同様に考慮し表3の項目を含んだ講義科目設定が施設認定の基準となる。課程内の臨床トレーニングの詳細については、別に定める「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」の放射線腫瘍物理レジデントに対する訓練プログラムに準拠するようにコースを設定する必要がある。施設認定を受けた博士課程終了時には、在学中の医学物理士試験合格者については医学物理士の認定資格を得ることが出来る。この場合、医学物理士認定資格を得ていても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ために、課程終了後臨床トレーニングを受けることが望ましい。

5．認定委員会

大学院プログラムの申請および認可の管理に対して日本医学放射線学会医学物理士委員会は責任を持つ。医学物理士委員会の中から調査チームを任命し、申請内容の精査を行い認可する。

6．施設認定

日本医学放射線学会医学物理士委員会は次の修了要件を満たす教育施設を医学物理士教育施設として認定する。認定のためにシラバス提出を必要とする。

修士課程においては、放射線物理学と線量測定学、保健物理学、放射線安全学、放射線生物学、解剖学、生理学、などの講義科目および実習（演習）科目（表1、項目については表3および表4）さらに修士論文作成を含む研究のトレーニング（特別研究）が適切に設定されていること

博士課程においては、放射線物理学と線量測定学、保健物理学、放射線安全学、放射線生物学、解剖学、生理学などの講義科目および実習（演習）科目は、表3および表4に定める項目が網羅され、臨床研修および課程の博士学位論文が設定されていること

前述の科目名は必ずしも同じである必要はないが準拠が望ましい。表1には、それらの必要最小時間数、単位数が示されている。

物理学を主として専攻しない学部出身者の大学院物理教育については、表2の科目履修が設定されていることが必要である。

7．履修例の提示

課程において多様な科目選択が可能な状況に置かれるため、医学物理士育成に必要な科目の履修モデルを、教育機関は学生には文書化し提示する必要がある。

8．授業評価およびカリキュラム評価

適切な教育が行われているのか学生による授業評価や第三者によるカリキュラム評価のシステムを構築することが望ましい。

9．医学物理士の認定

このガイドラインを遵守し日本医学放射線学会医学物理士委員会から施設認定を受け日本医学放射線学会理事会の承認を得た大学院教育施設を修了した者は、次の条件で医学物理士の受験資格を得ることが出来る。

- (1) 臨床研修コースを持つ博士課程を修了し博士号を取得した者
- (2) 修士課程を修了し修士号取得後、別途指定したレジデンスコースを修了した者

10．履修科目の概要

10.1 共通科目

10.1.1 放射線医学物理学と線量測定法

この章の資料は物理学学科卒業生または物理・数学の知識が十分な工学部卒業生に、放射線物理学と線量測定法の基本事項を教えるように作成されている。まず、物理量と単位を紹介し、次に放射性同位元素崩壊、エネルギー付与・吸収、各種核反応を

説明する。ナローおよびブロードビームにおける指数関数的な減衰の違いを理解してから、保健物理の遮蔽計算を学習する必要がある。すべての線量測定は荷電粒子平衡・放射線平衡・空洞理論の適用に基づいている。したがって、学生はこの理論を勉強した後に、実際的な線量測定計（電離箱、小型線量計）について学ぶべきである。本科目を放射線物理、放射線診断、核医学、保健物理に関する各講義の一部として教えることも可能である。ただし、その教材は初学者に教えるための一貫性を持っており、基礎的なことから順に教える必要がある。結果的に繰り返し教えることになる内容は、この基礎知識を修得するために役立つ。

10.1.2 保健物理/放射線安全

放射線防護は医学物理学のどの領域でも必要である。それは顕微鏡学的相互作用と細胞レベルの反応の間を結びつける基礎となる。その結果として、広範囲なトピックが論じられる。特に重要な項目は、検出装置および遮蔽解析である。訴訟が増加している現代社会においては、広範囲な規制環境がなされている。完全な防護教育には、計測器、環境調査、生物評価、遮蔽などに関する一連の講義が必要である。この項の重点は、医学物理学分野で遭遇し問題解決して行くための広範囲な基礎知識を提供することである。

10.1.3 放射線生物学

放射線効果は医学物理学分野のすべてに関係している。電離放射線の生物学的な効果についての理解の欠如により、誤った情報が広がっている状況を解決するには教育が必要である。この科目は集中的に教えるべきであり、放射線治療物理、保健物理、核医学などの講義の中に分散させてはいけない。

10.1.4 解剖学と生理学

この科目の終了後は、共通の医学用語を理解することが可能になるべきである。人体の大まかな解剖学的構造を識別して、主要な臓器の構造を理解し、修復、維持、成長に対する生理学的機構を理解するべきである。解剖学的構造と生理学的機能は、画像診断に必要な知識と関連づけられるべきである。

10.1.5 特別科目

以下に述べる科目は医学物理学の教育に重要である。多くの施設で、これらの科目を他の科目の授業の一環として取り入れている。例えば、計算機技能は画像学と放射線治療学でカバーしても良い。

10.1.5.1 計算機技能

コンピュータアプリケーションは医学物理士が仕事を行うために必須の基本的なツールである。この授業では、基礎的な計算機利用技術を紹介する。

10.1.5.2 専門的な倫理学/利害の衝突/科学的違法行為

この項では臨床医学と科学研究、医学物理士の業務における、倫理上の問題を取り扱う。倫理学という用語はここでは職業人の行為の許される標準という意味で使われる。倫理観については個人差があるが、職業人は文書化された倫理基準を持ちそれは働く現場で承認されている。文書化された行動規範を学ぶことに加えて、学生は行動の選択が必要な場面を知っておく必要がある。現行の行動基準を考慮すれば、選択肢のいくつかは倫理的であり、他のいくつかは反倫理的であろう。授業の中でケーススタディを行うことを強く勧める。これを実施すれば、倫理的判断が難しい様々なケースについて学生自身に考えさせることができる。教官も参加すれば、意見や類似するケースに関する過去の経験談を述べることもでき、有用である。

10.1.5.3 統計学

このコースでは以下の3つの統計的な概念・数学モデル・解析方法を教える。(1) ネイマン・ピアソン統計学; (2) ベイズ統計学; (3) リサンプリング統計学。強力なベイズ統計学とリサンプリング統計学は計算機が進歩し高速演算が可能になった最近になって初めて科学者に役立つようになってきた。特にこのコースで重要なことは、パラメトリックおよびノンパラメトリックなネイマン・ピアソンモデルとベイズモデルを使うことである。このコースでは実験計画、調査、データ取得・編集・解析・解釈・発表・経験的研究に基づくデータの報告などを含んでいる。このコースの他の目的として、医学における統計の有用性を認識すると共に、現状の統計学の知識では役立たないことを知り、役立つ統計学の勉強方法を知ることである。

10.1.5.4 安全：電気/化学/生物学/基礎の放射線

臨床医学物理に従事する物理士は電気、化学、生物学的な危険にさらされる。この入門コースを受講した学生は、これらの危険に対して知識をもち、注意深い行動をとることができるようになる。

10.2 画像診断学

10.2.1 従来の単純画像

従来の単純画像の項目にはX線撮影法と蛍光体画像を含んでいる。この項の主題は患者画像化の過程である。単純画像には、X線写真の生成、患者とX線の相互作用フィルムスクリーンシステムを使っての画像作成、X線画像処理を行っている干渉X線が含まれる。画質に関しては、グリッド、解像度、コントラスト、雑音、ぼけなどについて学習する。

10.2.2 デジタルX線画像とCT

画像検出系はフィルムからフィルムレスのデジタル技術へ大きく変革しつつある。コンピュータによる透視画像、デジタル透視画像などの新しい技術について概要を述べる。コンピュータによる透視画像技術に関して、信号処理手法を概説する。デジタル透視画像ではディスプレイモニタが利用され、モニターで表示するための最適パラメータについて議論する。CT技術について、最近の新しいハードウェアと応用技術を含め解説する。

10.2.3 超音波画像

超音波画像は臨床の様々な領域で使用されており、病院内の多くの診療科に配置されている。訓練には組織を通過する波の伝播、超音波変換器、超音波イメージング、ドップラー機器についての基礎的情報を含むべきである。臨床に携わる医療者は、リアルタイム音響出力インデックスの役割を含めて超音波機器に関する安全性に留意する必要がある。

10.2.4 磁気共鳴画像

この項では磁気共鳴画像(MRI)の物理の基本について述べる。画像生成の基礎、画像ひずみ、典型的なパルス系列を用いた場合のコントラスト、臨床応用、安全性を理解することを目的とする。最新の高度なMR画像技術についても概説する。

10.2.5 核医学

この項では核医学物理学の基本を取り上げ、ガンマカメラ、PETシステム、SPECTシステムとPET/CTシステムのようなもっと新しい技術システムを含めて言及される。

10.3 放射線治療

10.3.1 放射線腫瘍学

放射線治療では種々のがんを、放射線を用いて治療する。そのために種々の異なる性質をもつ放射線を異なる手法で用いる。放射線療法を単独で用いることもあるし、他の治療方法と組み合わせて行うこともある。これらの種々の放射線治療の方法と装置を概説し、がん治療における役割を解説する。

10.3.2 外部照射装置による放射線治療

この章では外部照射装置による放射線治療の概略を説明する。患者における、これらのビームの特性と関連した基本的線量、腫瘍や正常組織内の投与線量分布を解説する。

10.3.3 小線源治療

小線源治療は放射線源を組織内、腔内、表面へ密着することより短距離で照射する

治療方法である。この項ではその物理的特徴とこの治療法の臨床的な治療技術について述べる。

10.3.4 治療計画

この項では、治療計画の過程、治療計画に関わる線量基準点と評価方法、処方線量、線量計算法などについて学ぶ。X線、電子線、その他の放射線について解説し、実際に体内で吸収された線量を検証する方法について説明する。

10.3.5 放射線装置

高エネルギーの加速装置からシミュレータまでの多数の装置、CT、US、MRI、PETなどの画像システムは効果的な放射線治療を行うために必要とされる。物理学的設計、維持、品質保証(QA)手順はこの項で論じられる。

10.3.6 放射線治療での特別な技術

放射線治療分野の著しい成長により、過去20年間にいくつかの複雑な治療技術が開発された。これらは専門的な装置、訓練と付加的な財源を必要とする。これらについて解説する。

10.3.7 中性子、陽子と重粒子線による放射線治療

この項は中性子、陽子、重粒子線のような特殊な放射線とそれらの放射線治療に焦点を合わせて解説する。

10.3.8 放射線治療での放射線防護

放射線治療に関する放射線防護に関して述べる。個人レベルおよび治療施設に立ち入る一般人への放射線防護方法を理解する。関連法規、行動規範、記録保存について述べる。

11. 生涯教育

医学物理分野の知識は多岐に渡り、治療技術は急速に進歩している。そのため、医学物理士がその資質を維持し向上させるためには定期的な生涯教育の場が必要である。放射線治療分野における医学物理生涯教育カリキュラムガイドラインとして別に定める。

12. 認定基準の見直し

医学物理分野は広がりやその奥深さにおいて、急速な進歩を遂げている。そのため、認定基準は3年毎に見直しを行う。

表 1 . 科目と時間表

科目(注1)	最小時間数(注2)	コマ数	単位数(注3)	備考
物理数学	30	15	2	表2(注4)
力学	30	15	2	
電磁気学	30	15	2	
光学	30	15	2	
熱力学・統計力学	30	15	2	
原子分子物理学	30	15	2	
原子核物理学	30	15	2	
相対論	30	15	2	
量子力学	30	15	2	
誤差論	30	15	2	
放射線基礎物理学	30	15	2	表3(注5)
放射線防護学	30	15	2	
放射線診断物理	30	15	2	
放射線治療物理学	30	15	2	
放射線測定学	30	15	2	
情報処理学	30	15	2	
放射線関連法規および勧告	30	15	2	
解剖学	30	15	2	
生理学	30	15	2	
病理学	30	15	2	
放射線診断学	30	15	2	
核医学	30	15	2	
放射線治療学	30	15	2	
放射線生物学	30	15	2	
保健物理学 / 放射線安全演習(実習)	30	15	2	表4
画像診断物理学演習(実習)	30	15	2	
核医学物理学演習(実習)	30	15	2	
放射線治療物理学演習(実習)	30	15	2	
臨床トレーニング	120	60	8	
特別研究(課程論文)	150	75	10	
日本の大学院設置基準に適合しなければならない(表2を除く)。 注1: 認定のためシラバス提出を必要とする。 注2: ここでいう1時間とは実時間の45分に相当し90分で1コマ換算である。 注3: 単位換算は授業科目においては15時間半期で1単位とした。 注4: 学部教育科目相当である。表2の項目を含めば、各教育施設で独自に科目立ては可能である。 注5: 認定試験科目と同じである。表3の項目を含めば、各教育施設で独自に科目立ては可能である。				

表 2 . 物理学および関連科目

大項目	中項目
2.1 物理数学	
	(a)関数の極限と連続性
	(b)微分係数と導関数
	(c)高次導関数
	(d)テイラーの定理
	(e)原始関数と不定積分
	(f)種々の関数の積分
	(g)定積分
	(h)偏微分
	(i)重積分法
	(j)常微分方程式
	(k)線形代数
	(l)行列と行列式
	(m)複素関数
	(n)テイラー展開
	(o)フーリエ変換
	(p)逆変換
	(q)デルタ関数
	(r)ラプラス変換
	(s)ルジャンドル関数
	(t)エルミート多項式
	(u)ベッセル関数
	(v) 2 階線形微分方程式
2.2 力学	
	(a)速度・加速度
	(b)ニュートンの運動法則
	(c)調和振動(単振り子)
	(d)力学的エネルギー保存則
	(e)等速運動
	(f)自由落下
	(h)等加速度運動
	(i)減衰振動
	(j)強制振動
	(k)運動量保存則
	(l)角運動量
	(m)角運動量保存則
	(n)惑星の運動
	(o)質点系の力学
	(p)剛体の力学

	(q)一般化座標
	(r)ラグランジュ方程式と変分原理
	(s)ハミルトンの正準方程式
	(t)正準変換
2.3 電磁気学	
	(a)クーロン力と電場
	(b)ガウスの法則
	(c)電位, スカラーポテンシャル
	(d)静電エネルギー
	(e)電気双極子
	(f)ストークスの定理
	(g)ラプラス方程式
	(h)ポアソン方程式
	(i)電流と磁場との相互作用
	(j)ローレンツ力
	(k)磁場のガウス則
	(l)アンペールの法則
	(m)ビオサバールの法則
	(n)ベクトルポテンシャル
	(o)導体と絶縁体
	(p)電束電流
	(q)電磁誘導
	(r)ファラデー則
	(s)Maxwell 方程式
	(t)電磁波
	(u)誘電体
	(v)磁性体
2.4 光学	
	(a)物質の誘電率
	(b)直線偏光と円偏光
	(c)反射と屈折
	(d)Snell の法則
	(e)全反射
	(f)幾何光学
	(g)分散・回折・干渉
	(h)可干渉性(コヒーレンス)
	(i)レーザー
	(j)量子光学
	(k)放射光
2.5 熱力学・統計力学	
	(a)熱平衡状態の記述

	(b)理想気体
	(c)熱力学的過程
	(d)準静的過程、不可逆過程と可逆過程
	(e)熱力学の第1法則
	(f)内部エネルギー
	(g)熱力学の第2法則
	(h)等温過程、ケルビンの原理
	(i)ヘルムホルツの自由エネルギー
	(j)カルノーサイクルとカルノーの定理
	(k)熱機関の効率
	(l)熱力学的温度
	(m)エントロピー
	(n)エンタルピー
	(o)Gibbsの自由エネルギー
	(p)熱力学第3法則
	(q)エネルギー等分配の法則
	(r)Fermi統計
	(s)Bose統計
	(t)Bose-Einstein凝縮
	(u)超流動
2.6 原子分子物理学	
	(a)原子による荷電粒子の散乱
	(b)原子の発光および吸収スペクトル
	(c)原子の励起
	(d)エネルギー準位と電子軌道
	(e)軌道角運動量, スピン角運動量
	(f)光学的許容遷移と選択則
	(g)磁気モーメントとゼーマン効果
	(i)特性X線, オージェ崩壊
	(j)レーザー発振の原理
	(k)共有結合
	(l)イオン結合
	(m)分子スペクトル
	(n)ESR
2.7 原子核物理学	
	(a)結合エネルギー
	(b)質量公式
	(c)核エネルギー
	(d)核力
	(e)アイソスピン
	(f)中間子

	(g)フェルミガス模型
	(h)魔法数
	(i)スピン-軌道力
	(j)jj 結合
	(k)殻模型
	(l)原子核の崩壊
	(m)クーロン障壁とトンネル効果
	(n)パリティ非保存
	(o)熱核融合反応
	(p)核分裂
	(q)クォーク
	(r)ハドロン
	(s)複合核反応
	(t)直接反応
	(u)共鳴現象
	(v)重イオン核反応
	(x)元素の起源
	(y)星の進化と元素合成
2.8 相対論	
	(a)特殊相対論
	(b)質量
	(c)慣性系
	(d)ガリレイ変換
	(e)光速度不変の原理
	(f)等価原理
	(g)相対性原理
	(h)ローレンツ変換
	(i)ミンコフスキー空間と4次元時空
	(j)世界線と固有時
	(k)一般相対性理論
2.9 量子力学	
	(a)原子スペクトル
	(b)水素原子の半古典論
	(c)波動性
	(d)粒子性
	(e)不確定性原理
	(f)シュレーディンガー方程式
	(h)確率解釈
	(i)一次元箱型ポテンシャル
	(j)束縛状態
	(k)波束

	(l)散乱
	(m)調和振動子
	(n)角運動量
	(o)スピン
	(p)ゼーマン効果
	(p)角運動量の合成
	(q)エルミート演算子
	(r)固有値と固有関数
	(s)波動関数の直交性と完全性
	(t)ディラック記法
	(u)摂動論
	(v)縮退
2.10 誤差論	
	(a)誤差の定義
	(b)相対誤差
	(c)平均値
	(d)残差
	(e)偶然誤差
	(f)系統誤差
	(g)直接測定
	(h)間接測定
	(i)分布と誤差
	(j)母集団と標本
	(k)標本抽出
	(l)分散と標準偏差
	(m)2項分布
	(n)ポアソン分布
	(o)正規分布
	(p)大数の法則
	(q)誤差の伝播
	(r)データの平滑化、補間法
	(s)データの回帰曲線
	(t)最小自乗法

表 3.1 放射線医学物理学と線量測定学

大項目	中項目
3.1 放射線医学物理学と線量測定学	
1. 原子と原子核の構造	
	(a) 原子構造の基本的定義
	(b) 原子のラザフォードモデル
	(c) 水素原子のボーアモデル
	(d) 多電子原子
	(e) 原子核構造
	(f) 放射能
	(g) 放射性崩壊モード
2. 放射線の分類	
	(a) 放射線物理の基本物理量と単位
	(b) 直接電離放射線と間接電離放射線の種類と線源
	(c) 電離放射線場の記述
3. 放射線場の記述に用いられる量と単位	
	(a) フルエンスとフルエンス率
	(b) エネルギーフルエンスとエネルギーフルエンス率
4. 電離放射線と物質の相互作用の記述に用いられる量と単位	
	(a) カーマ, 衝突カーマ, 放射カーマ
	(b) 吸収線量
	(c) 放射能
	(d) エネルギー転移、正味のエネルギー転移、付与エネルギー
	(e) 等価線量と線質係数
	(f) 照射線量
5. 間接電離放射線光子ビーム	
	(a) X線遷移、特性X線、原子の電離と励起

	(b) モーズリーの法則、X線の線スペクトル、多電子原子のハートリー理論
	(c) 加速荷電粒子からの放射線と制動放射線の発生、ラーモアの関係
	(d) X線ターゲット、制動放射線場
	(e) 線質とフィルタリング
	(f) 光子ビームによる組織内エネルギー付与
6. 指数関数的減弱	
	(a) 単純指数減弱
	(b) 半過層、10分の1価層、減弱係数、相互作用断面積
	(c) 細い線束と広い線束の減弱
	(d) ビルドアップ係数
	(e) 減弱のスペクトル効果、線質硬化と軟化
	(f) 相反定理（可逆定理）
	(g) エネルギー転移係数、エネルギー吸収係数
	(h) 光子ビーム相互作用における吸収線量計算
7. 光子と物質の相互作用	
	(a) トムソン散乱
	(b) レイリー散乱
	(c) 光電効果
	(d) コンプトン散乱
	(e) 電子対生成、3電子生成
	(f) 光核反応
	(g) 個々の相互作用の相対的優位性
	(h) 光子相互作用後の効果、蛍光放射、オージェ効果、
	(i) 減弱係数、エネルギー転移係数、エネルギー吸収係数に対する個々の効果の寄与
8. 間接電離放射線中性子線ビーム	
	(a) 運動エネルギーによる中性子の種類
	(b) 中性子線源

	(c)中性子線の性質
	(d)組織内の中性子線の付与
9. 中性子と物質の相互作用	
	(a)組織要素内の中性子の相互作用
	(b)中性子カーマと吸収線量計算
	(c)人体ファントムにおける吸収線量
	(d) 線、中性子線混合場の線量測定
	(e)中性子の線質係数
10. 直接電離放射線	
	(a)臨床に用いられる荷電粒子線の種類
	(b)荷電粒子線源
	(c)荷電粒子線による組織へのエネルギー付与
11. 直接電離放射線と物質の相互作用	
	(a)阻止能(衝突阻止能と放射阻止能)、散乱能飛程、ゆらぎ
	(b)制限阻止能、線エネルギー付与
	(c)軌道電子との相互作用
	(d)核との相互作用
	(e)荷電粒子相互作用の吸収線量計算
12. 放射性崩壊	
	(a)全崩壊定数と部分崩壊定数
	(b)放射能の単位
	(c)平均寿命と半減期
	(d)親核種・娘核種の関係
	(e)過渡平衡と永続平衡
	(f)娘核種の抽出
	(g)原子核相互作用による放射化
	(h)照射線量率定数と空気カーマ率定数
13. 荷電粒子平衡と放射平衡	
	(a)放射平衡
	(b)荷電粒子平衡(CPE)

	(c) 荷電粒子平衡下における吸収線量、衝突カーマと照射線量の関係
	(d) 荷電粒子平衡の条件と非平衡の原因
	(e) 過渡荷電粒子平衡
14. 線量測定	
	(a) 線量計の種類と一般的特性
	(b) ICRU (国際放射線単位測定委員会) の線量測定の量と単位の定義
	(c) 絶対線量測定と相対線量測定のテクニック
	(d) 線量測定の解釈
15. 熱量計による線量測定	
	(a) 基本原理と測定法
	(b) 熱量欠損と熱量平衡
	(c) 熱電対とサーミスタ
	(d) 断熱, 等温および, 定温での温度技術
16. 化学 (フリッケ) 線量計	
	(a) 基本原理と測定技術
	(b) G-値と放射化学収率
	(c) 吸収スペクトロスコピー
17. 空洞理論	
	(a) ブラックグレイの空洞理論とその派生
	(b) スペンサーアティックスとブーリンの空洞理論
	(c) ファノの定理
	(d) 阻止能の平均化
	(e) 境界近傍の線量
18. 電離箱	
	(a) 電離箱の基本的構造
	(b) 標準自由空気電離箱
	(c) 空洞 (指頭型) 電離箱
	(d) 外挿電離箱
	(e) 電離電流と電荷の測定 (微分モードと積算モード)
	(f) イオン対生成に必要な平均エネルギー
	(g) 電離箱の飽和特性、初期再結合と再結合、拡散損失
19. 電離箱線量計による光子、電子ビームの校正	

	(a)空洞電離箱の校正空気中空気カーマと水中線量
	(b)線量測定プロトコル: 標準測定法 01、AAPM TG-21、AAPM TG51, IAEA レポートシリーズ 398 (IAEA TRS-398)
	(c)光子と電子ビームのためのファントム物質
20. 相対線量測定技術	
	(a)熱蛍光線量計 (TLD)
	(b)フィルム線量測定とラジオクロミックフィルム
	(c)半導体線量計ダイオード
	(d)光刺激ルミネッセンス線量計 (OSL)
	(e)MOSFET (金属酸化膜半導体フィールド効果トランジスタ) 線量計とダイヤモンド検出器
	(f)ゲル線量計
21. パルスモード検出器による線量測定	
	(a)ガイガーミュラー計数管 (GM 計数管) と比例計数管
	(b)シンチレーション検出器
	(c)放射線サーベイメータ
	(d)中性子検出器

表 3.2 保健物理学/放射線安全学

大項目	中項目
3.2 保健物理学/放射線安全学	
1. 序論と歴史的見地	
	(a) 電離放射線の発見と初期の利用
	(b) 観察された放射線障害
	(c) 提案された放射線防護の実践
	(d) 規制への第一歩
2. 放射線防護に適用される物理的相互作用	
	(a) 間接的電離放射線と直接的電離放射線
	(b) クーロン場散乱のベーテプロッホの式シェル効果、極性現象、核反応過程、弾性散乱、飛跡構造、標的現象、放射性崩壊過程、Anderson - Ziegler パラメタリゼーション、Janni の表、化合物 混合物の効果
	(c) 電磁放射線相互作用：光電効果、コンプトン効果、電子対生成、カスケードシャワー
	(d) 中性子相互作用、弾性散乱と非弾性散乱過程
3. 放射線作業環境における線量測定	
	(a) 単位
	(b) カーマと吸収線量
	(c) 線量当量
	(d) ICRU 勧告
	(e) 中性子線質係数の最近の変化
4. 放射線検出器装置	
	(a) 比例計数管、GM 計数管を含む電離測定
	(b) シンチレーション検出器と熱ルミネセンス線量計 (TLD)
	(c) 線量当量測定機器 (レムカウンター)
5. 遮蔽: 特性および設計	

	(a)直接電離粒子
	(b)間接電離粒子
	(c)ビルドアップのパラメータ化
	(d)確率的サンプリング：モンテカルロ
	(e)粒子線加速器
	(f)NCRP 遮蔽勧告と技術
6. 統計学	
	(a)機器応答の統計学的解釈
	(b)実験計画
	(c)確率的、非確率的誤差解析
	(d)実験結果の解釈
7. 個人放射線モニタリング	
	(a)計測装置とテクニック
	(b)積分、可動デバイス
	(c)ダイナミック範囲と高感度反応
	(d)フィルム、TLD、Lexan、および CR-39
	(e)ポケット線量計と GM 計数管
8. 内部被爆	
	(a)ICRP26、ICRP2A 勧告 (ICRP60 として改訂され発行)
	(b)医療内部被爆線量 (MIRD) の放射量測定
	(c)モニタリングと放射線管理
	(d)バイオアッセイ
	(e)作業環境内への拡散
	(f)摂取の許容限度および推定空気 (または水) 濃縮
9. 環境への拡散	
	(a)放射線核種の環境への放出
	(b)線量の重要性
	(c)環境防護機構と米国核規制委員会の空中・水中散逸モデル
10. 生物学的効果	
	(a)基礎放射線生物学
	(b)非確率的と確率的反応

	(c)放射線障害の生物学実験データベース
	(d)電離放射線の生物学効果 BEIR と原子放射線効果に関する国連科学委員会報告 UNSCEAR
11.規則	
	(a)何が有り、何が無いか
	放射線障害防止法、医療法施行規則、原子力基本法、電離放射線障害防止規則、診療放射線技師法、人事院規則職員の放射線障害の規則、診療エックス線技師法、作業環境測定法、臨床検査技師法、薬事法放射線医薬品の製造及び取扱規則
	(c)国の合意と非合意事項
	(d)NCRP と ICRP との関係(国際放射線防護委員会)
12.高 / 低レベル廃棄物処理	
	(a)11a 参照
	(b)低レベルコンパクト
	(c)将来に対する影響
13.非電離放射線	
	(a)電気および音による事故
	(b)装置からの放出に関する必要事項
	(c)測定技術
	(d)規制による制御

表 3.3 放射線生物学

大項目	中項目
3.3 放射線生物学	
1. 放射線と物質の相互作用の概説	
	(a)放射線の種類
	(b)放射線吸収の機序
	(c)電離密度
2.DNA への放射線傷害	
	(a)水の放射線化学
	(b)DNA の構造と放射線誘発疾患
	(c)二重鎖切断
3.DNA 損傷の修復	
	(a)除去修復
	(b)二重鎖切断の修復
4.放射線誘発染色体損傷と修復	
	(a)染色体の生物学と異常
	(b)線二次 (LQ) モデル
5.生存率曲線理論	
	(a)標的理論
	(b)生存率曲線モデル
	(c)細胞感受性
6.細胞死:細胞死の概念(アポトーシスと細胞増殖死)	
7.細胞の回復の過程	
	(a)放射線損傷の種類
	(b)潜在的致障害 (PLD) と亜致死損傷 (SLD)
	(c)分割効果
	(d)線量率効果
8.細胞周期	
	(a)細胞動態と細胞周期
	(b)細胞周期と放射線感受性
	(c)細胞周期の放射線効果
9.放射線効果修飾物質,増感剤と防護剤	
	(a)酸素効果と他の放射線増感剤
	(b)放射線防護剤
10. RBE, OER, LET	

	(a) 線エネルギー付与 (LET)
	(b) 生物学的効果比 (RBE)
	(c) 酸素増感比 (OER)
11. 細胞動態	
	(a) 細胞周期とその構成要素の定量化
	(b) 腫瘍からの成長と細胞消失
	(c) オートラジオグラフィとフローサイトメトリ
	(d) ヒト腫瘍の成長速度
12. 組織の放射線障害	
	(a) 組織と臓器の解剖学
	(b) 障害の表現と測定
13. 放射線病理学. 急性の影響と晩期の影響	
	(a) 正常組織の急性と晩期反応
	(b) 急性効果と晩期効果の病因論
	(c) 晩期反応の異なる種類
	(d) 残存損傷 / 放射線症候群 / 臨床での全身照射
14. 組織病理学	
	(a) 放射線損傷の一般的形態学
	(b) 細胞死の形態学
	(c) 放射線照射された腫瘍の形態変化
15. 腫瘍放射線生物学	
	(a) 基本的な腫瘍構造と生理学
	(b) 腫瘍における、低酸素細胞の重要性と再酸素化の重要性
16. 時間、線量、および分割法	
	(a) 放射線生物学の4つのR
	(b) 体積効果
	(c) 分割法の基礎
	(d) 正常組織の早期と晩期の線量応答関係
	(e) 多分割照射と加速照射
	(f) / モデル
17. 放射線遺伝学: 生殖力と突然変異生成に関する放射線効果	
	(a) 不妊への標的細胞
	(b) 一時的、永久的な不妊症への線量

	(c) 逆分割法効果
	(d) 突然変異誘導のメカニズム
	(e) 相対的なリスク対絶対リスク
	(f) 異なる部位でのがん誘導の時間コースと潜伏期 / リスク
18. 分子メカニズム	
	(a) 分子クローン技術
	(b) 遺伝子分析
	(c) がん遺伝子とがん抑制遺伝子
19. 薬品と放射線の相互作用	

表 3.4 解剖学と生理学

大項目	中項目
3.4 解剖学と生理学	
1. 解剖学の命名法	
	(a) 解剖学的な名前の起源
	(b) 接頭語と接尾語
	(c) 解剖学的な位置と体幹部ブレン像
2. 骨	
	(a) 分類
	(b) 構造
	(c) 発達
3. 脊柱	
	(a) 脊柱の区分
	(b) 脊椎構造
	(c) 脊柱のX線像
4. 胸郭	
	(a) 胸郭の骨
	(b) 胸郭の器官
	(c) 胸の構造のX線像
5. 腹	
	(a) 区分と領域
	(b) 腹部臓器
	(c) 腹部臓器系
6. 呼吸器系	
	(a) 臓器
	(b) 機能
	(c) X線像
7. 消化器系	
	(a) 区分
	(b) 位置と広がり
	(c) 機能
	(d) X線像
8. 泌尿器系	
	(a) 器官
	(b) 位置
	(c) 機能
	(d) X線像
9. 生殖器官	
	(a) 器官
	(b) 位置

	(c) 機能
	(d) X線像
10. 循環系	
	(a) 主要コンポーネント
	(b) 機能
	(c) X線像
	(d) カーテル法ラボへの訪問
11. 病理学	
	(a) 解剖における器官の同定
	(b) 器官位置
	(c) 器官構成
	(d) X線写真の発見の相関関係

表 3.5 特別な科目

大項目	中項目
3.5 特別な科目	
3.5.1 コンピュータ活用能力	
1. スプレッドシート： Excel など	
2. データベース：Access., FoxPro., Oracle. など	
3. モデリング, グラフィッ クパッケージ：MatLab., IDL, Mathematica など	
4. 高次プログラム言語：C, Fortran, Visual Basic など	
5. 高レベルエディタ, ワー プロ, プレゼンテーション ソフト	
6. オペレーティングシステ ム：UNIX, and scripting languages, Perl, Windows など	
7. 文献検索：Medline, PubMed など	
8. 統計ソフト：SPSS, SYSTAT, SAS, STATISTICA. など	
9. ネットワーク	
	(a) ネットワークのタイプ、データレート、バンド幅
	(b) ネットワークインフラ
	(c) WAN、LAN (広域ネットワーク、ローカルエリア・ネ ットワーク)
	(d) スイッチング機構
	(e) プロトコル構造
	(f) DICOM の本質的概念インターフェイス, HL-7(Health Level-7)
	(g) 画像保管通信システム PACS
3.5.2 職業倫理/利益相反/ 科学的不正	
1. データ、患者レコード、	

測定結果と報告	
	(a) プライバシーと所有権
	(b) 出版物の正当な利用
	(c) 特許権利
	(d) アーカイビングおよび記録保持
	(e) データの改ざん
2. 出版物とプレゼンテーション	
	(a) 著者
	(b) 著作権
	(c) 専門家の査読、機密性と利害の衝突
	(d) 盗作
3. 一般的な職業上の行為	
	(a) 研究者との関連
	(b) 雇用のための公正競争
	(c) コンサルティングと利害衝突
	(d) 内部告発
4. 医療過誤	
	(a) 標準的注意
	(b) 専門家証人としての証言
	(c) 患者と医師とのコミュニケーションにおける責任と権利
5. 研究	
	(a) 人間対象
	(b) インフォームドコンセント
	(c) 環境の健康と安全
	(d) 研究結果の普及
	(e) 帰属
	(f) 利益相反
3.5.3 医学統計法	
A. 主要なトピック	
1. 記述統計学	
	(a) 観察の測定法のスケール：名目上、序数、期間、比
	(b) 単変量、多変量観測：
	(c) 観測量分布（正規分布、二項分布、対数正規分布）、 グラフ法、箱プロット法、確立プロット法、

	(d)母数 vs 標本統計量
	(e)統計分布，無作為抽出
2．確率	
	(a)古典確率
	(b)ベイズ確率
3．統計的推論と推定のためのモデル	
	(a)目標個体数，標本個体数，標本，許容間隔
	(b)標本統計の分布： 自乗，Student t，F分布など
	(c)仮説の検証，点と間隔予測，再サンプリ化法
	(d)準確率としての有意性検定，有意水準
	(e)仮説検定(ノイマン ピアソン)対仮説確率(ベイズ)
	(f)信頼区間(ノイマン ピアソン)対信用区間(ベイズ)
	(g)第1種過誤と第2種過誤．統計テスト検出力，帰無仮説と対立仮説 多重比較問題(ノイマン ピアソン)，仮説確率、尤度比、ベイズ因子
4．仮説検証およびパラメータ推測ための実験計画法、感度分析	
	(a)異なる個体からなる2つの治療グループ
	(b)異なる個体からなる3つの治療グループ
	(c)同一個体からなる1回の治療前と後
	(d)同一個体における3回以上の治療
	(e)2つ又はそれ以上の変数
5．臨床研究のデザイン	
	(a)研究の信頼性と妥当性：内部の妥当性、外部の妥当性など。任意の選択(母集団推論)、ランダム割付け(原因となる推論)

	(b)無作為にコントロールされた研究のデザインと分析長所と短所
	(c)ケースコントロールとコホート調査のデザインと分析：長所と短所
	(d)調査のための標本サイズ決定：検出力解析
	(e)機能状態測定．遺伝子系（SF-36）,状態特異
	(f)データベース調査．長所（高度外的妥当性）と短所（低い内的妥当性）,データ採取
6．回帰モデル	
	(a)単純回帰分析と多重分析モデル
	(b)ロジスティック回帰モデル
	(c)対数線形モデルとポアソンモデル
	(d)非線形モデル（非線形パラメータ）
	(e)適合度検定の測定と回帰診断、測定誤差、非本質的な/影響のある観測結果、コリニア変数
	(f)混合評価とリッジ回帰
	(g)内挿モデルと外挿モデル
7．生存分析、時間から障害へのモデル、センサー観察量、生存率とハザード関数	
	(a)カプラン-マイヤー法
	(b)生命表モデル又は生命保険数理モデル
	(c)比例ハザードモデル
	(d)ワイブルモデル
	(e)適合度検定の測定と残差解析
	(f)標本サイズの決定
8．カテゴリーデータ解析	
	(a)二次元表、三次元表
	(b)オッズ比率と相対的危険度, 寄与危険度
	(c)ロジットと対数線形モデル

	(d)受信者動作特性(ROC)分析と解釈:感性、診断試験の特異性と予測価:診断試験の信頼性/妥当性の機会によって修正された処置
	(e)あまり重要でない同種性とマクネマーテスト
	(f)評価者内合意、カッパとカッパ加重統計
B. 第二類のトピック	
1. パラメトリックおよびノンパラメトリックモデル: 手順の有効性:再サンプリング法:正確な統計法	
2. 多重比較	
	(a)Bonferroni, Hommel, Tukey など有意レベルの調整(ノイマン-ピアソンモデル)
3. 研究の全体、同主題の研究からの情報統合,メタ解析、クロスデザイン統合、コクラン共同、線量 効果関数の同種間外挿	
	(a)メタ分析
	(b)クロスデザイン統合
	(c)経験ベイズ点と間隔内部凝縮推定変数
4. プロビット回帰モデル、 バイオアッセイ	
5. 多変量解析	
	(a)クラスター分析
	(b)判別分析
	(c)因子分析
	(d)主成分分析
6. 時系列解析:統計上の予測:ポイントと中間期見積もり	
	(a)傾向(決定論)対動向(推計的)
	(b)指数平滑法とARIMAモデル
	(c)結合独立予想
7. 通常応答の比例オッズと比例ハザードモデル	

8 . 品質管理統計値。 UnivariateとMultivariate コントロールチャート	
3.5.4 安全:電気/化学/生物 学的/基礎の放射線)	
1.電気に関する安全	
	(a) 高圧源
	(b) 特殊な安全取扱
	(c) 緊急時のインターロック
2.危険時の通信基準	
3.危険な物質	
4.物質の安全取扱データシ ート	
5.環境と緊急時への対応	
6.放射線安全	

表 3.6 画像科学

大項目	中項目
3.6 画像科学	
3.6.1 通常プラナー画像	
1. X線発生	
	(a) X線管
	(b) 電子エネルギー
	(c) 制動放射線, 阻止 X線
	(d) 特性 X線
	(e) 効率
	(f) 有効度 (出力)
2. X線管へのエネルギー供給とその制御	
	(a) kV の発生
	(b) 電圧波形と X線発生
	(c) コンデンサー
	(d) 高周波電源装置
	(e) mA 制御
	(f) 照射時間制御
	(g) 品質保証 (QA) の手順
3. X線管発熱と冷却	
	(a) 熱発生
	(b) 熱容量
	(c) 焦点の大きさ
	(d) 陽極物質
	(e) X線管容器
4. X線画像形成とコントラスト	
	(a) コントラストタイプ
	(b) 光子エネルギー (kVp) の影響
	(c) エリア・コントラスト
5. 散乱線とコントラスト	
	(a) コントラスト低下
	(b) コリメーション
	(c) エアギャップ
	(d) グリッド
	(e) グリッド透過能
	(f) グリッドの選択
6. X線受光体	
	(a) 増感紙の機能

	(b)記録媒体の感度
	(c)画像ぼけ
	(d)画像ノイズ
	(e)アーチファクト
7.写真処理過程とフィルム感度	
	(a)フィルムの機能
	(b)光学濃度
	(c)フィルム構造
	(d)写真処理過程
	(e)感度
	(f)写真処理過程の品質管理
8.フィルムコントラスト特性	
	(a)コントラストの伝達
	(b)フィルムのラチチュード
	(c)フィルムの種類
	(d)処理の影響
	(e)フィルムかぶり
9.X線写真濃度制御	
	(a)X線発生装置
	(b)受光媒体の感度
	(c)患者
	(d)距離と照射野
	(e)自動露光制御
10.ぼけ、分解能と解像度	
	(a)解像度
	(b)不鮮鋭度
	(c)分解能
	(d)変調伝達関数(MTF)
11.X線写真の詳細	
	(a)被写体位置と倍率
	(b)運動ぼけ
	(c)焦点ぼけ
	(d)受光媒体によるぼけ
	(e)総合ぼけ
12.透視撮影システム	
	(a)X線イメージインテンシファイア管
	(b)ビデオシステム
	(c)光学システムとカメラ
	(d)記録媒体の感度

13. 画像ノイズ	
	(a) 視覚に及ぼす効果
	(b) 量子ノイズ
	(c) 受光媒体の感度
	(d) 粒状性ノイズと構造ノイズ
	(e) 電子ノイズ
	(f) コントラストに及ぼすノイズの影響
	(g) ノイズに及ぼすぼけの影響
	(h) 画像加算
	(i) 画像減算
3.6.2 デジタルX線画像とコンピュータ断層撮影	
1. デジタル画像システムと画像処理	
	(a) デジタル画像
	(b) デジタル画像受光媒体と信号変換
	(c) 画像処理
	(d) 画像の保存と読み出し
	(e) 画像表示と解析
	(f) デジタルX線画像システム
2. コンピュータ断層撮影画像の形成	
	(a) X線システム
	(b) 検出器
	(c) コンピュータ
	(d) 表示装置とカメラ
	(e) 走査
	(f) 画像再構成
	(g) ボリュームCTまたはコーンビームCT
3. コンピュータ断層撮影画像の品質	
	(a) コントラスト感度
	(b) 高コントラスト分解能と低コントラスト分解能
	(c) ノイズ
	(d) アーチファクト
	(e) 品質保証 (QA)
4. 特殊デジタル技術	
	(a) 画像分類

	(b)デジタル透視
	(c)時間依存処理
	(d)マスクモード
	(e)マッチドフィルタ
	(f)時間差方式 TID モード
	(g)再帰的時間フィルタ
	(h)パラメトリックイメージング
	(i)エネルギー依存処理
	(j)k 吸収端イメージング
	(k)非 K 吸収端エネルギーサブトラクション
	(l)エネルギーサブトラクション S/N
	(m)空間周波数フィルタリング
	(n)デュアルエネルギーノイズ軽減技術
	(o)画像補正技術
3.6.3 超音波画像 1. 超音波平面波	
1. 超音波平面波	
	(a)一次元波動方程式と調和解法
	(b)波動の変数：圧力，粒子速度，変位
	(c)強度；圧力振幅との関係
	(d)デシベル表記
	(e)音響インピーダンス
	(f)表面における反射と透過
2. 組織中の音波の伝搬	
	(a)音速
	(b)減衰と吸収
	(c)散乱
	(d)非線形伝搬；B/A の定義
3. 単素子トランスデューサ	
	(a)一般的な設計考察
	(b)周波数とバンド幅に作用する要因
	(c)連続波ビームパターン
	(d)パルス動作でのビームパターン
	(e)集束
4. トランスデューサアレイ	
	(a)一次元アレイの原理
	(b)設計；音響素子レイアウト、マッチングとバックキ ング物質
	(c)多重周波数動作

	(d)送信ビームフォーミング；送信フォーカシング
	(e)受信ビームフォーミング；受信フォーカシング
	(f)アポダイゼーションと動的絞り
	(g)距離、方位分解能評価
	(h)スライス厚
5.パルスエコー装置の信号処理	
	(a)パルス特性と負荷時間率
	(b)送信パワー
	(c)受信ゲイン；総ゲインとTGC（時間ゲイン補正）
	(d)圧縮と復調
	(e)ハーモニックイメージング
	(f)Aモード，Bモード，Mモード
6.B-モード画像	
	(a)原理的なイメージング法
	(b)画像フレームレート
7.連続波とパルスドップラ	
	(a)ドップラ方程式
	(b)ドップラ信号の性質
	(c)スペクトル解析
	(d)パルスドップラ
	(e)エイリアシング
8.超音波を用いたフローイメージング	
	(a)速度画像
	(b)エネルギー画像
	(c)カラーフロー画像における情報
	(d)血液プール造影剤
9.装置性能試験	
	(a)距離、方位、スライス方向分解能
	(b)分解能測定法
	(c)感度と可視化深度
10.グレースケールの画像とドップラにおける情報とアーチファクト	
11.生体影響と安全性	
	(a)超音波出力測定
	(b)リアルタイム出力ラベル：Mi、Ti
	(c)超音波の生体影響

	(d)安全動作レベル
3.6.4MRI 磁気共鳴映像法	
1.基本原理	
	(a)MR 画像コントラストに影響を与える固有および外的パラメータ
	(b)MR に有用な原子核に必要とされる性質
	(c)静磁場 (B0) と熱平衡分布
	(d)ラーモア周波数と高周波磁場 (B1)
	(e)実験室系と回転座標系
	(f)緩和機構 (T1, T2, T2*) と共通の造影剤効果
	(g)基本的なスピンエコーシーケンス
	(h)スピンエコー画像のコントラスト
	()線形傾斜磁場(Gx, Gy, Gz)を用いた空間座標エンコーディング
	(j)k 空間の特徴
	(k)フルスピンエコーシーケンス
2.ハードウェア	
	(a)静磁場サブシステム
	(b)高周波場サブシステム
	(c)傾斜磁場サブシステム
3.基本的な画質事項	
	(a)MRI における信号対雑音比とコントラスト対雑音比
	(b)解像度
	(c)画像取得時間
4.基本的なパルスシーケンス	
	(a)スピンエコーシーケンス
	(b)グラディエントエコーシーケンス
	(c)ファストスピンエコーシーケンス
	(d)反転回復法 (IR 法) とその応用[STIR, FLAIR]
	(e)撮像オプション (領域およびケミカルシフト飽和技術)

	(f)超高速撮像法(エコープラナー法とスパイラル技術)
	(g)MR アンギオグラフィ(MRA)
	(h)MR スペクトロスコピー(MRS)シーケンス
5.アーチファクト	
	(a)動き
	(b)エイリアジング(ラップアラウンド)
	(c)金属物
	(d)化学シフト
	(e)トランケーション
	(f)装置関連
6.安全性と生体影響	
	(a)静磁場関連(磁性物体の急激な吸引、体内埋め込み物への作用、生理的影響)
	(b)高周波関連(組織加温、比吸収率、火傷)
	(c)傾斜磁場関連(末梢神経刺激、音圧)
	(d)食品医薬品局(FDA)ガイドライン
	(e)MR 検査における妊婦、技師、看護師
	(f)MR 用造影剤
7.品質管理(QC)	
	(a)米国放射線医学会(ACR)MRI 基準
	(b)米国放射線医学会(ACR)MR 認定制度(MRAP)
	(c)米国放射線医学会(ACR)品質管理マニュアルと推奨品質管理
	(d)他のガイドライン(米国医学物理学会(AAPM)分科会報告、全国(米国)電気業界協会(NEMA)報告など)
3.6.5 核医学/イメージング	
1.ガンマカメラ	
	(a)カメラ特性
	(b)コリメータ
	(c)結晶
	(d)光電子増倍管配列
	(e)画像形成
	(f)スペクトロメトリー
	(g)パルス波高分析器

2. 放射性核種画像品質	
	(a) コントラスト
	(b) ぼけと解像度
	(c) 画像ノイズ
	(d) 均一性
	(e) 臨床利用
3. 放射性核種断層画像	
	(a) 陽電子放出形断層撮像法 (PET) と PET/CT
	(b) 単一光子放出形断層撮像法 (SPECT)
4. 統計量：計数誤差	
5. 患者被曝と防護	
	(a) 生体内線量測定
	(b) 臨床における線量測定、検査による典型的被曝線量
	(c) 核医学治療における線量測定
6. 個人被曝と防護	
	(a) 実効線量
	(b) 被曝限度
	(c) 被曝源
	(d) エリアシールドイング
	(e) 個人遮蔽
	(f) 放射性同位元素線源からの被曝
7. 放射線測定	
	(a) 電離箱
	(b) サーベイメータ
	(c) 放射能測定
8. 放射化学の原理, ラジオイムノイメージングと放射性医薬品	
	(a) 放射化学の原理
	(b) ラジオイムノイメージングと放射線免疫治療の原理
	(c) 放射性同位元素薬剤技術
9. 核医学における品質管理事項	

表 3.7 放射線療法

大項目	中項目
3.7 放射線療法	
2.7.1 放射線腫瘍学	
1. 臨床の放射線腫瘍学の概要	
	(a) がん発生率/病因
	(b) がん分類/病期
	(c) 治療法の概要：
	(d) 臨床医学物理士の役割
	(e) 国内および国外の医学物理学と放射線腫瘍学の組織
2. 放射線治療の放射線生物学的基礎	
	(a) 腫瘍制御と正常組織の耐容（治療可能比）
	(b) 修復
	(c) 分割（照射）
	(d) 臓器耐容
	(e) 生存率曲線の数学的概念
3.7.2 外部のビーム放射線治療	
1. 臨床光子線：記載事項	
	(a) 基本的パラメータ：照射野サイズ，線源皮膚間距離，線源回転軸間距離，線源絞り間距離
	(b) 照射野オプション：不規則な円形、正方形、長方形
	(c) 照射野絞り：矩形（上段と下段絞り）円形多分割（マルチリーフ）
2. 臨床光子線：ポイント線量計算	
	(a) 深部量百分率（PDD）
	(b) ピーク散乱係数（PSF）
	(c) 組織空中線量比（TAR）
	(d) 組織最大線量比（TMR）
	(e) 組織ファントム線量比（TPR）
	(f) 散乱関数
	(g) 散乱空気線量比（SAR）

	(h)散乱最大線量比 (SMR)
	(i) コリメータファクター
	(j)相対線量係数/出力係数
	(k)軸外線量比
3.臨床光子線:基本的な臨床の線量計測法	
	(a)基本的な線量の諸量に影響を与える要因
	(b)基本的な線量の諸量の間関係
	(c)コリメータとファントム散乱補正
	(d)不整形照射野とクラークソンの積分法
4.臨床の電子線	
	(a)電子線治療ヘッド
	(b)深部量分布
	(c)エネルギースペクトル
	(d)線量分布
	(e)モニタ単位の決定
	(f)ビーム線量測定におけるエアギャップの影響
	(g)基本的な原理
3.7.3 小線源治療	
1.小線源治療:基本的物理特性	
	(a)小線源治療で使用される放射性核種
	(b)小線源治療で使用される線源タイプ
	(c)密封線源の線量測定 (線源強度, 空気カーマ率, 吸収線量計算)
	(d)線源校正, 検定, 品質保証
	(e)線源仕様と線量測定法
2.小線源治療:臨床面	
	(a)小線源治療技術:組織内, 腔内表面アプリケータ
	(b)小線源治療システム:直接充填 vs. 後装填手動 vs. 遠隔操作式後装填
	(c)組織内小線源治療:マンチェスター法とパリ法
	(d)シードインプラント
	(e)超音波ガイド下の前立腺シードインプラント
	(f)婦人科の腔内治療

	(g)臨床的処方と線量体積ヒストグラム
	(h)リモートアフターローディングマシン
	(i)放射線医学モデル(線形二次モデル)
3.7.4 治療計画	
1. 標的体積の定義と処方線量の基準(ICRU50 と ICRU60) ;	
	(a)肉眼的腫瘍体積(GTV)
	(b)臨床標的体積(CTV)
	(c)計画標的体積(PTV)
	(d)線量処方点、等線量線、または等線量面
2. 光子線:線量モデリングと治療計画	
	(a)単一照射野の線量分布
	(b)等線量曲線と等線量面に影響を与えるパラメータ
	(c)照射野の組み合わせ
	(d)ウェッジ照射野と角度を持った照射野
	(e)SSD(線源表面間距離)、組織欠損、不均質のための補正
	(f)線量記載と標準化
3. 光子線:治療計画	
	(a)等線量データの獲得
	(b)コンピュータハードウェア
	(c)一般的なアルゴリズム:コンボリユーション、スーパーポジション、ペンシルビーム
	(d)単一平面治療計画
	(e)多平面治療計画
	(f)ノンコプラナープラン
	(g)不整形コリメータによる治療計画
	(h)ダイナミックウェッジを用いた治療計画
	(i)マルチリーフコリメータ(MLC)を用いた治療計画
	(j)補償体のデザイン
	(k)3次元治療計画
	(l)フォワード治療計画とインバース治療計画

	(m)モンテカルロ技術を使用した治療計画
	(n)治療計画装置の品質保証
4.臨床の光子線:患者への適用	
	(a)患者データ取得
	(b)従来のシミュレータ技術
	(c)付属品装置と技術
	(d)CTシミュレータ技術
	(e)特別な考慮事項
5.臨床の電子線:線量モデリングと治療計画	
	(a)患者とビーム幾何学的影響
	(b)線量アルゴリズム
	(c)治療計画技術
	(d)特別な電子線治療技術
3.7.5 放射線療法装置	
1.放射線治療装置	
	(a)同位体元素ユニット:コバルト 60 とセシウム 137
	(b)静電型加速器
	(c)周期型加速器
2.リニアック(リニアック)	
	(a)基本的な設計と構成要素
	(b)加速導波管
	(c)電子入射システム
	(d)RFジェネレーター
	(e)電子ビーム輸送装置
	(f)リニアック治療ヘッド
	(g)治療用光子線発生(ターゲットとフラットニングフィルタ)
	(h)治療用電子線発生
	(i)線量モニタリングシステム
	(j)ビームコリメーション
3.装置の導入	
	(a)仕様書

	(b)治療室設計
	(c)入札文書
	(d)装置据付
	(e)受入れ試験
	(f)装置のコミッショニング
4.品質管理 / 品質保証 (QA/QC)	
	(a)全治療過程の誤差解析
	(b)QC、QA 標準の拠り所
	(c)QA プログラムの組織化
	(d)線量投与
	(e)特定の QA ガイドライン
	(f)放射線腫瘍学情報管理システム
5.ファントムシステム	
	(a)光子線および電子線に対する組織等価物質
	(b)較正用ファントム
	(c)人体模擬ファントム
	(d)ビームスキャンニングシステム
3.7.6 放射線治療における 特別な技術	
1.特別な外照射ビーム放射 線療法技術：基本的特徴、歴 史的発展、品質保証（装置と 治療）、治療疾患	
	(a)全身照射（TBI）
	(b)全皮膚電子線照射（TSEI）
	(c)定位手術的照射
	(d)定位放射線照射
	(e)経直腸照射
	(f)電子アーク照射
	(g)術中照射
	(h)ハイパーサーミア
	(i)加速分割照射
2.強度変調放射線治療法 (IMRT)	
	(a)線量照射システム

	(b)線量照射技法
3.7.7 中性子、光子、重粒子による放射線治療	
1.原理	
	(a)物理学的
	(b)生物学的
2.中性子	
	(a)中性子の生成
	(b)生体組織中での相互作用
3.陽子線	
	(a)陽子線の生成
	(b)生体組織中での相互作用
	(c)深部線量と線量測定
	(d)ビーム整形
	(e)装置または施設
4.重イオン(ヘリウム、炭素、窒素、ネオン、アルゴン)	
	(a)生成
	(b)生体組織中での相互作用
	(c)深部線量と線量測定
	(d)ビーム整形
	(e)装置または施設
3.7.8 放射線治療での放射線防護	
1.操作上の安全ガイドライン	
	(a)規制政府機関と規制要件
	(b)放射線調査：測定法技術と装置
	(c)エリア個人モニタリング
	(d)外照射線源
	(e)小線源治療線源
2.治療設備の構造的遮蔽	
	(a)作業負荷量、占有因子、使用因子などの定義
	(b)一次線、散乱、漏洩線の定義
	(c)構造的遮蔽設計

表 4. 実習（演習）科目

大項目	中項目
4. 実習（演習）科目	
4.1 保健物理学 / 放射線安全	
1. シンチレーション検出器によるサンプル分析	
	(a) 検出器応答特性とエネルギー
	(b) 統計的な考察
	(c) 関係法規と漏洩試験の必要条件
	(d) 試料準備
	(e) データ分析
	(f) 結果の解釈
2. 個人線量計：光子、電子	
	(a) 検出器の型と特性
	(b) ガンマ線のエネルギー応答
	(c) 線量レスポンス
	(d) 安定度と再現精度
3. 個人線量計：中性子	
	(a) 検出器の型と特性
	(b) 中性子エネルギー応答
	(c) 線量レスポンス
	(d) 線量等価レスポンス
	(e) 安定度と再現精度
4. 線形加速器からの漏洩放射線	
	(a) 予想される放射照射場
	(b) 検出器の型と校正
	(c) AAPM 勧告
	(d) 測定法と分析
	(e) 漏れ中性子
5. 中性子サーベイ機器	
	(a) 線量当量レスポンス：ボナー球
	(b) エネルギー非依存レスポンス：ロングカウンター
	(c) 校正：Pu-Be
	(d) 実効中心と中性子応答
	(e) データ分析と解釈
6. トリチウム空気濃度 - 生物学的負荷定量	
	(a) 空気拡散とサンプル収集

	(b)生物サンプル収集
	(c)液体シンチレーションカウンター測定技術
	(d)誘導空気中濃度
	(e)誘導体内負荷
7. CT 診察室の遮蔽計算	
	(a)特別に必要なものと線源の特性
	(b)既存の建築資材の使用
	(c)適切なレイアウトと人の動線
	(d)計算と解釈
	(e)結果のプレゼンテーション
8. 確率的サンプリングによる粒子輸送	
	(a)線源履歴の発生
	(b)断面積の準備
	(c)幾何学的準備
	(d)明確な輸送履歴
	(e)結果の採点
9. 診断画像処置からの線量評価	
	(a)胎児の線量計算
	(b)小児の線量問題
	(c)リスク評価
4.2 画像診断学	
1. X線の発生と装置の出力	
	(a)電離箱測定法
	(b)kVp, mA, 照射時間の影響
	(c)ろ過の影響
	(d)半価層の測定
2. 写真(フィルム)のコントラスト	
	(a)ドジメトリーとセンチメトリー
	(b)kv, mA、照射時間の影響
	(c)H&D 曲線(Hurter & Driffielddcurves)
	(d)プロセッサ
3. フィルム/スクリーン系	
	(a)感度
	(b)分解能
	(c)ノイズ
	(d)プロセッサ
4. 散乱X線の除去	
	(a)グリッド

	(b)エアギャップ
	(c)コリメーション
5. 撮影と透視の品質管理	
	(a)焦点サイズ
	(b)放射照射野 / 光照射野
	(c)再現性、直線性
	(d)線量計算
	(e)電圧測定
	(f)断層撮影、シネ、高速フィルムチェンジャー
	(g)透視撮影
	(h)乳房撮影
	(i)歯科撮影
6. 画像記憶とディスプレイシステム	
	(a)ビデオシステム
	(b)ハードコピーカメラ
	(c)光ディスク
	(d)磁気記憶媒体
	(e)画像情報処理
	(f)ネットワーク Q.C.
	(g)ソフトコピーディスプレイ校正と Q.C.
7. 非電離放射線による画像形成技術	
	(a)サーモグラフィ
	(b)可視光線
	(c)生体磁気
8. イメージングシステムの性能評価	
	(a)MTF
	(b)ROC
	(c)性能指数
9. 超音波	
	(a)イメージング原理
	(b)QC
	(c)強度の測定法、出力
10. 磁気共鳴イメージング (MRI) 装置	
	(a)イメージング原理
	(b)基本パルスシーケンスと一般的なイメージオブション
	(c)高周波と傾斜コイルの設計と仕様

	(d)据付と安全性
	(e)受入れ試験、QCと認可
11. コンピュータ断層撮影 (CT)装置	
	(a)イメージング原理
	(b)スライス層
	(c)高・低コントラスト分解能
	(d)ビームプロフィール
	(e)線量測定
	(f)ヘリカルZ軸の特性
	(g)位置決め用光照準の配置
	(h)QCと認可
4.3 核医学物理学;	
1. Mo-Tc ジェネレータ	
	(a)溶出とアッセイ
	(b)品質管理
2. 放射性同位元素の放射能 測定装置	
	(a)品質管理：定常性、直線性、精度
	(b)放射性同位元素標準試料の拭取り試験
3. シンチレーションカウン ター	
	(a)各構成部分のパルス出力特性
	(b)最適増倍型光電管電圧量の決定
4. ガンマ線スペクトロメー ター (NaI)	
	(a)シングルチャンネルとマルチチャンネル分析シ ステムの校正
	(b)直線性の測定
	(c)品質管理
	(d)二種類の放射性同位元素の計測
5. シンチレーションカメラ (アンガー型)	
	(a)品質管理：均一性、空間分解能、均一性と結晶劣 化を評価するための非対称エネルギーウィンドウな ど
	(b)コントラストと空間分解能の波高分析ウィンド ウサイズの影響
	(c)分解時間の測定法
	(d)固有空間分解能、総合空間分解能、散乱線体有り の総合空間分解能、MTF

	(e) 複数エネルギーウィンドウによる位置ずれの測定
	(f) フラッドフィールド均一性の評価
6. 単一光子放出形断層撮像法 (SPECT)	
	(a) 品質管理：回転中心の校正、高計数率特性
	(b) 投影画像と断層画像の空間分解能の比較
	(c) 均一性、RMS (平均2乗偏差) ノイズ、吸収補正精度、コントラストの測定
7. 陽電子放出形断層撮像法 (PET)	
	(a) 品質管理
	(b) シングル計数率、RMS ノイズ、コントラストの測定
4.4 放射線治療物理学；	
1. 臨床放射線腫瘍学の概観；	
1 .多くの学問領域にわたるがんカンファレンス/腫瘍委員会に出席	
2. 吸収線量確定；	
	(a) TG-21 と TG-51 プロトコルを使ったりニアック光子ビームの校正
	(b) アイソセンターおよび SSD の 2 つのジオメトリの対して、コバルト 60 ビームを校正
	(c)、TG-21 と TG-51 プロトコル両方を使って、エネルギー決定を始めてとして、電子線の校正
	(d) 必須の校正を含めて、2 つの臨床の TLD 測定を行うこと；
	(e) 電子深部線量の測定と電子ビームの平坦度と対称性の測定を行うためにフィルム測定法の使用
3. 放射線機器：特になし	
4. 光子線：基本的な線量記述用語	
	(a) GTV、CTV、PTV の定義
	(b) 直接 PDD および TMR の測定の実施, PDD データから TMR を計算し測定値との比較
	(c) すべての臨床症例に対して治療時間の計算
	(d) リニアックの出力係数を測定
	(e) TMR データから SAR (あるいは SMR) を計算
	(f) 手作業とコンピュータの両者によって、1 例のマントル照射野を含めて、不整形照射野 3 例を計算

	(g)手作業とコンピュータの両者によって、回転ビームの平均 TMR を計算
5.光子線:線量のモデルリング、外部ビームと IMRT ;	
6.光子線:患者適用、外部ビームと IMRT ;	
7.電子線治療 ;	
	(a)シミュレーション、ブロックカット、治療計画および治療照射を含めたすべての治療活動に参加:チャートラウンド(カルテによる討議)と患者フォローアップに参加 ;
	(b)外部放射線治療に対する線量モデルの実施
8.小線源治療;臨床面での参加のほかに、LDR と HDR の双方に対して、手作業およびコンピュータによって、子宮頸部と平面インプラント計算	
9.放射線防護:リニアックのインストレーションに対してビームストッパ装置が無い状態で要求される遮蔽を計算	
10.品質保証/品質管理 ;	
	(a)すべての放射線源、ブロックカッターなどについてルーチンの品質管理テストを実行
	(b)個々のビームタイプ(コバルト、リニアック光子線、電子線、表在用/低圧シミュレータ装置)について完全な年一回の品質管理テストを実施

(別紙2)

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

1章.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、放射線治療を専門とする医学物理士(以下、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6章に、身につけるべき業務のリストを示した。

2章.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、医学物理士としての十分な知識と適切なレベルの臨床能力を身につけるための教育であり、このプログラムで教育、訓練を受けたレジデントが、医学物理士として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。訓練は医学物理士として就業してからも継続的に必要である。そ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章.必要とされる知識

放射線治療物理レジデントは、日本医学放射線学会認定の放射線治療分野大学院博士課程医学物理カリキュラム修了生であることが最も望ましい。なぜなら、レジデントカリキュラムは、大学院で習得した知識を指導者のもとで実践し、単独で業務を行えるレベルに到達することを目的としているからである。認定されていない医学物理の大学院または理工系大学院の修了生の場合は、適切な医学物理の大学院や研究施設などのコースを受講するか、あるいは日本医学放射線学会放射線治療物理大学院教育カリキュラムに基づいて構成された段階的な自習プログラムに参加することが求められる(ただし、2007年現在、認定された自習プログラムはまだ用意されていない)。

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。大学院や研究施設などの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。放射線治療物理レジデントの応募資格は5章に記載されている。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いけない事項を6章に記載し、継続的に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7章、8章、9章に記載した。

4章.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

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。訓練プログラムは臨床

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、単独でまたは共同での管理や幅広い臨床物理業務を習得することにある。

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年の間に、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、必要に応じて関連病院における適切な臨床訓練が実施されるべきである。

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5章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。

施設指導責任者の条件は以下の3つである。

- (1) 日本医学放射線学会認定の医学物理士であること。
- (2) 放射線治療物理の専任の医学物理士として5年以上の経験を有すること。
(ただし、2012年までは1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の常勤職員であること。

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1名の専任の日本医学放射線学会認定の医学物理士、少なくとも1名の専任の日本医学放射線学会認定専門医（放射線治療）または日本放射線腫瘍学会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。

4.4 訓練内容

放射線治療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5章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。

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数を超えないことが望ましい。

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。

4.7 施設

臨床医学物理および訓練プログラムを実践するために、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10MV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。

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。

4.9 施設の支援

放射線治療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。

4.10 教育環境

放射線治療物理の臨床訓練は、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。

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。

4.12 図書館

放射線治療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、AAPM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。

5章 放射線治療物理レジデントの条件

放射線治療物理レジデントに応募するためには以下の要件を満たしている必要がある。

5.1 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. 日本医学放射線学会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. 放射線治療技術コース
- D. 物理学に密接に関与する分野のコース

5.2 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ていること

- 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

5.3 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

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

6章 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いけない事項である。

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・コミッション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りとリスク管理
- (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。

6.1 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)

6.2 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

6.3 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

6.4 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. 胎児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

6.5 放射線の安全性

- A. 規則、勧告、許可
 - 1. 所轄官庁、都道府県、施設内
 - 2. 放射線安全委員会
 - 3. 放射性医薬品の製造及び取扱規則（薬事法）
 - 4. 医療法施行規制（医療法）
 - 5. 放射線障害防止法
 - 6. 国際放射線防護委員会(ICRP)勧告
- 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

6.6 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. トモセラピー
 - 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

6.7 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)

6.8 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

6.9 画像診断

- A. CT
 - 1. 走査技術
 - 2. 幾何学的な確度
 - 3. C T 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

6.10 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

7章 放射線治療物理レジデントが継続的に学ぶべき放射線物理の知識

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

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

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. 照射線量の単位とその定義（レントゲン）
- 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QA

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

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

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

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

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)

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

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

8章 放射線腫瘍物理レジデントが継続的に学ぶべき医学知識

8.1 医学用語

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。

8.3 がんの疫学(性別、年齢、職業、地域などの影響)

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

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

8.6 転移様式と転移病巣

- A. 進展様式
- B. 転移部位とその割合
- C. 転移の診断
- D. リンパ節転移
- E. 遠隔転移

8.7 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

8.8 合併症による治療への影響

- A. 膠原病
- B. 糖尿病
- C. 心血管病
- D. 神経疾患
- E. 呼吸器疾患
- F. 他の修飾因子

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

8.11 がんの治療目的

- A. 根治的治療
- B. 準根治的治療
- C. 姑息治療
- D. 対症的治療（症状緩和のための治療）

8.12 医療者としての心がけ

- A. 守秘義務
- B. 患者・家族に対する対応
- C. 心肺蘇生術
- D. 医療チームの一員としての心がけ

9章 放射線腫瘍医学物理レジデントが継続的に学ぶべき放射線生物学の知識

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

D. 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

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

9.3 生物学的効果比(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)

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

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

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

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

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

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

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

10章 おわりに

この放射線治療物理レジデント訓練プログラムのゴールは、医学物理士としての訓練を積むことにより、医学物理の3つの柱の1つの放射線治療分野において業務を一人で実践できる知識と能力を獲得することである。本邦では今まで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。訓練プログラムの修了生が必ず身につけるべき専門能力を6章に、継続的に学習することが望ましい知識・作業手順・能力を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。なお、繰り返しになるが、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) 1名以上の専任の日本医学放射線学会認定医学物理士（放射線腫瘍物理教官）
- (2) 1名以上の訓練を支援する専任の日本医学放射線学会認定専門医（放射線治療）または日本放射線腫瘍学会認定の放射線腫瘍医

- (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リニアック2台以上
- (4) 最新の3次元治療計画装置
- (5) 外部照射について、年間治療患者数500名以上（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