

外部放射線治療の基礎と現状

秋田大学医学部附属病院 中央放射線部 ○柳本 一貴(Yanagimoto Kazuki)

【はじめに】

近年、放射線治療においてRI内用療法と外部照射を組み合わせられた治療が行われている。本講演では、核医学班と治療班の共通テーマとして前立腺癌に焦点を当て、外部放射線治療の基礎から現状（照射方法、処方線量、IGRT、線量評価など）について自施設の取り組みも含めて紹介した。また、内部照射についてもふれた。

【外部放射線治療】

外部放射線治療とはリニアック（LINAC）、サイバーナイフ、ガンマナイフ等の装置を使用して体外から放射線を照射することによって治療を行う方法である。一方、それに対して内部放射線治療とは、体内に挿入された放射性同位元素によって体内から放射線を照射し治療を行う方法である。ブラキセラピーやRALS等が挙げられる。

【前立腺】

前立腺は、層構造をしており、尿道周りの内腺と被膜付近の外腺に分けられる。前立腺癌は主に外腺（辺縁領域）で発生する。その特徴としては、男性の癌罹患数1位（2020年）であること、進行が遅く、他の悪性腫瘍に比べ予後は良好であることが挙げられる。

【前立腺癌の放射線治療】

限局癌～局所進行癌において、前立腺全体と精嚢（部分/全体）に照射を行う。この際に、内分泌療法（ホルモン療法）が併用される場合が多い。グリソンスコアやPSA、T病期などから決定されるリスク分類に応じて治療モダリティや強度を決定する。また、5年生化学的再発率は低リスクでは80～90%、中リスクでは70～80%、高リスクでは50～70%程度となっている。再発率は投与線量が高いほど低くなるのがわかっており、近年では技術進歩で高線量、低侵襲、治療期間短縮が行われている。

【照射方法】

3D-CRT（3次元原体照射）とは、MLC（Multi leaf collimator）を用いることで病変の位置や形状に合わせて照射野を形成し、3次的に照射を行

う方法であり、外部放射線治療において最も一般的な照射方法である。例えば、4方向から照射をする4門照射や多方向から照射を行う7門照射など様々なものが存在する。

強度変調放射線治療は、一般的にIMRT（Intensity Modulated Radiation Therapy）と呼ばれている。IMRTでは照射中にMLCが複雑に動き開閉することで線量を増減させ、照射野内の線量に強弱をつけることが可能である。3D-CRTに比べ、腫瘍組織に集中した照射が可能であり、正常組織の線量を低減することが可能である。

VMAT（Volumetric Modulated Arc Therapy）はIMRTの応用型であり、IMRTが多方向から照射するのに対して、回転しながら照射する方法であり、多方向から照射するIMRTに比べ大幅な時間短縮が可能である。

【処方線量】

線量分割において、通常分割（ $2\text{ Gy} \times 38\text{ 分割} = 76\text{ Gy}$ ）、中程度寡分割（ $3\text{ Gy} \times 20\text{ 分割} = 60\text{ Gy}$ ）、超寡分割（ $7.25\text{ Gy} \times 5\text{ 分割} = 36.25\text{ Gy}$ ）の主に3つのパターンに分類される。寡分割とは、1回あたりの線量を増加させて、分割回数を少なくするという意味である。当院においては、中程度寡分割が最も多く用いられている。その他にも、救済放射線治療（術後PSA再発）やブラキセラピーを併用するなど症例に応じて様々なパターンがある。

【線量指標】

線量評価を行う上で線量指標は様々なものがあるが、本講演ではD○○%、V○○Gy、Dmaxに注目した。

D○○%とは、腫瘍の体積の○○%が照射される線量（Dose）を表している。例えば、 $D_{95\%} \geq 60\text{ Gy}$ の場合、腫瘍体積の95%が60 Gy以上とすることを示す。

V○○ Gyは○○ Gy以上照射される体積（Volume）を表している。例えば、 $V_{33\text{ Gy}} \leq 60\%$ の場合33 Gy以上照射される体積を全体の60%以下にすることを表している。

Dmaxは組織内での最大（max）の線量を表している。これらの線量指標を用いることによって、腫

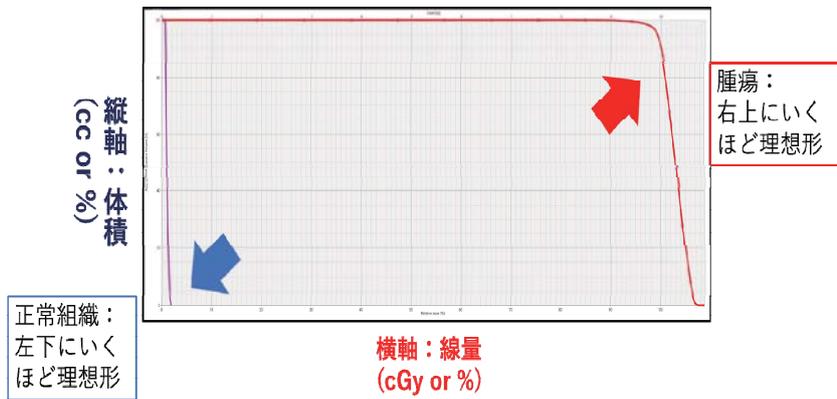


Fig.1 DVH

瘍への線量集中性、正常組織への線量の制約を評価している。

DVH (dose volume histogram) は、各臓器内の線量の配分がどのようになっているか、グラフを用いて確認する機能である。横軸に線量を縦軸に評価する臓器の体積を表示する。例えば、線量を当てたい腫瘍の場合、赤線で示しているような形状になり、右上に行くほど理想的な形になる。また、線量を抑えたい正常組織の場合、紫色で示しているような形状になり、左下に行くほど理想的な形になる (Fig.1)。

【線量分布】

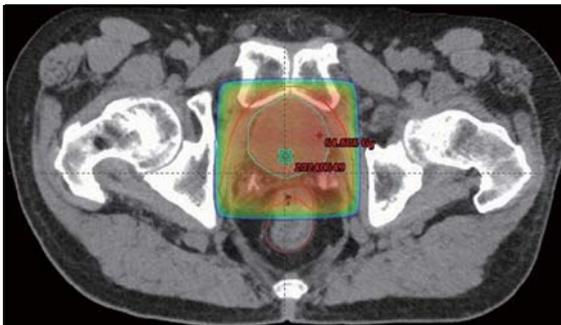


Fig.2 3D-CRT 4門照射

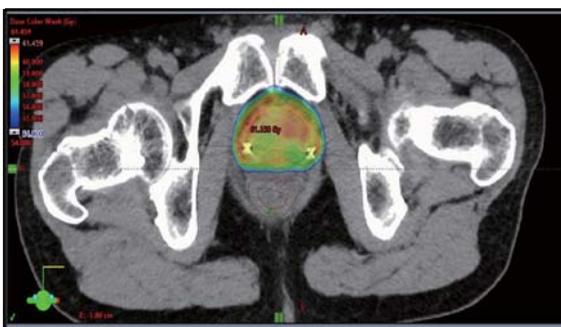


Fig.3 VMAT

2つの線量分布を比較すると (Fig.2, 3)、VMATでは正常組織である直腸を避け、より前立腺にフィットした線量分布になっている。しかし、VMATでは前立腺にフィットした急峻な線量分布であるがゆえに前立腺の変位、変形に弱いというデメリットもある。

【IGRT】

IGRTは画像誘導放射線治療のことであり、治療前の位置照合を目的としている。位置照合は体表面を認識できる装置を用いて照合する方法 (Fig.4)、kVの画像を取得して骨構造で照合する方法 (Fig.5)、CBCT画像などを取得して腫瘍 (組織) で位置照合する方法 (Fig.6) の主に3つに分類される。

IGRTにより従来の放射線治療と比較し、標的に対して正確な照射が可能となった。

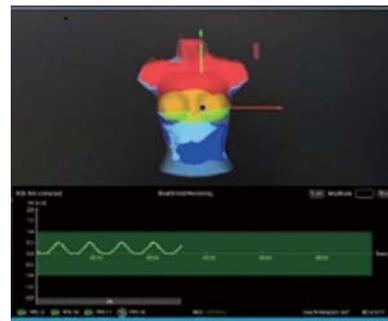


Fig.4 体表面



Fig.5 骨構造

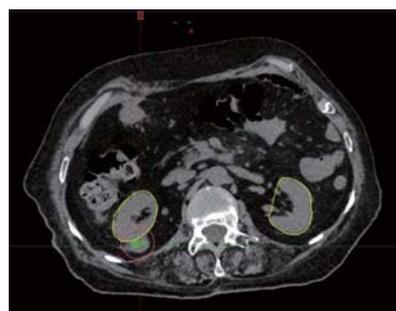


Fig.6 腫瘍

当院では、前立腺VMATの場合、正面と側面の2方向のkV画像を取得し、骨構造を用いて位置照合を行う。またこの際に、直腸ガスの有無を確認する。次に、CBCT画像 (Fig.7) を取得し、腫瘍(前立腺)での位置照合を行う。位置照合用に前立腺に金マーカーが埋め込まれているので、それを参考にして位置照合を行う。この際に、蓄尿量、便、直腸ガスの確認や前立腺と直腸、膀胱の位置確認を行い、照射を行う。

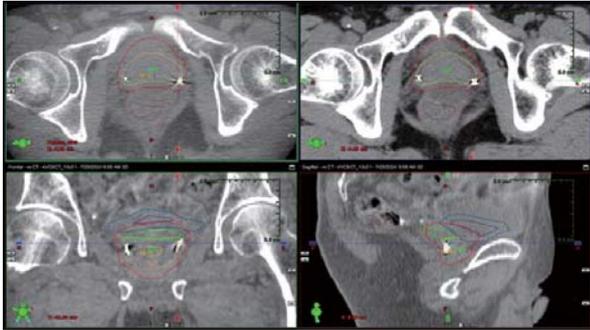


Fig.7 CBCT画像

【線量評価】

前立腺VMAT (3 Gy/fr 60 Gy) において、当院の線量評価するうえでの目標値を示す。腫瘍(ターゲット): D95% \geq 57 Gy, V54 Gy \geq 98%, Dmax \leq 66 Gyを目標値とし、これらを満足することで腫瘍線量の担保をする。正常組織では、Rectum wall: V33 Gy \leq 60%, V50 Gy \leq 30%, V58Gy \leq 20%, V65 Gy \leq 1%, Bladder wall: V33 Gy \leq 60%, V58 Gy \leq 35%, Femoral head: V43 Gy \leq 5%とし、有害事象である排尿障害、直腸炎などのリスクを低減することが可能である。線量評価では、作成された線量分布が上記を満たしているかを評価する。

【前処置】

当院では、照射当日に前処置を行っている。その目的は正常組織の線量を低下させること、照射時の再現性の向上を目的としている。

膀胱の線量を下げる工夫として、照射前に1時間の畜尿をすることで、膀胱体積が大きくなり、膀胱線量を下げることが可能である。

直腸の線量を下げる工夫として、排便、排ガス

を行うことで、直腸体積が減少し、高線量域にさらされる範囲を縮小することが可能である。

また、事前に手術室で位置照合に用いる金マーカーの挿入、SpaceOAR挿入を行っている。SpaceOARを挿入することで前立腺と直腸の距離を確保し、直腸の線量を低下することが可能である (Fig. 8)。

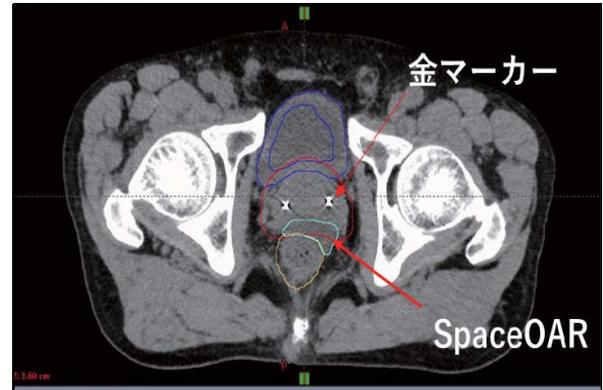


Fig.8 SpaceOAR

【小線源治療】

密封小線源永久挿入療法(シード治療)は、経直腸エコーガイド下に、125Iが封入されたチタン製カプセルを前立腺内に50~100個程度挿入する治療を行う内部放射線治療である。特徴としては、短時間の手技で治療が完結、合併症が手術より少ないことが挙げられる。主に低~中リスク群への治療として発展したが、外部照射や短期ホルモン療法との併用で、高リスクへの適応が拡大されている。当院の場合の処方線量は、小線源単独の場合160 Gy、外部照射併用の場合110 Gyとなっている。

【まとめ】

前立腺癌の外部照射はその目的によって様々な処方線量、照射方法のバリエーションが存在している。また、IGRT、照射技術の進化によって、より腫瘍に局限した高線量の治療、正常組織の線量低下が可能である。近年では1回線量を増加して、分割回数を減らす傾向がみられる。患者さんの状態に合わせた最適な治療が選択可能である。