

学 位 論 文 題 名

脳及び肺腫瘍に対する小照射野を用いた 3 次元 conformal
照射法の Dose Volume Statistics を用いた評価

学位論文内容の要旨

<目的>

3次元conformal照射(three-dimensional conformal radiotherapy, 3-DCRT)は、3次元的にいろいろな角度から腫瘍に照射ビームを集中させる技術であり、合併症が少なく治療効果が高い放射線治療として、脳や肺のいろいろな大きさの疾患に適応が広がってきた。しかし、1990年代前半に発達した定位手術的照射が使われる10cc以下と、従来の放射線治療で良く使われる100cc以上の中間、すなわち10ccから100cc程度の領域では、3-DCRTの照射条件の最適化に関する研究がなかった。線量分布の最適化には、各照射法の%線量毎の照射体積を示すDose Volume Histogram(DVH)の比較が有用と言われている。そこで今回、10-100ccの標的体積に3-DCRTを用いた場合の最適な照射条件を導くため、脳腫瘍-肺癌の単純なモデルに対して、種々の照射法のDVH及びその臨床意義を3次元治療計算装置を用いて解析した。

<対象と方法>

対象は脳腫瘍の場合と肺癌の場合を想定した。肺癌好発年齢の50才台男性(身長165cm、体重57kg)1名の脳および両肺の全臓器とその周囲臓器を含んでCT画像を撮影し、そのデータを3次元治療計画装置(Focus, CMS)に送った。単純化のために正方形照射野を用い、大きさは2x2cm², 3x3cm², 4x4cm², 5x5cm², 6x6cm², 7x7cm²(脳のみ)の照射野サイズに関して解析した。

3次元治療計画装置には、当施設の医療用直線加速器(Varian 2300C)の線錐データとして、6MV X線のTMR (tissue maximum ratio)、OCR (off center ratio), field factorをあらかじめ入力した。基本入力データ(標準線量分布)計算に用いられたMatrix sizeは、1mm³である。脳では正常組織も腫瘍組織もその密度を1.0g/cm³とした。肺正常組織の密度は、CT値からconversion tableを用いた補正值を使用した。但し、腫瘍として仮定したPTVは、その内部密度を1.0g/cm³として計算した。

線量分布をもとに、3次元治療計画装置に装備されたDVH分析のプログラムを用い、20%線量の照射された体積(20%線量体積)、50%線量の照射された体積(50%線量体積)、50%線量の照射された体積から80%線量の照射された体積を差し引いた体積(50%-

80%体積)を計算し、その結果と、腫瘍の部位や照射方法との関係性を評価した。

<結果>

(1) 脳

全脳の体積は1183 cm³であった。大脳中央付近(松果体付近)の脳腫瘍を想定して同一軌道面での左右対向2門照射、同一軌道面での5門照射、3-D CRTを行った場合の3方法それぞれについて各照射野でのDVHを比較した。

20%線量体積は、照射野が4x4cm²以下の場合、3-D CRTが2門照射、5門照射よりも小さかった。しかし、5x5 cm²を超える照射野で、3-D CRTの方がその体積は大きかった。50%線量体積は、2x2~7x7 cm²全てにおいてこの逆転は起こらず、3-D CRTが2門、5門照射よりも小さかった。50%-80%体積は、3-D CRTが2門、5門照射よりも2x2-7x7 cm²の範囲で小さかった。

(2) 肺

両肺の体積は2979 cm³であった。中肺野末梢型肺癌において、同一軌道面での前後対向2門照射、同一軌道面での3門照射、同一軌道面での回転照射、3-D CRTを行った場合の4方法それぞれについて各照射野でのDVHを比較した。

2x2~6x6cm²の照射野サイズに渡って、3-D CRTは同一軌道面の治療に比べて50%線量体積および50%-80%体積を軽減できることが分かった。さらに細かくみると3-D CRTで40%線量体積、30%線量体積は縮小し、20%線量体積はほぼ同じで、10%線量体積はむしろ増大していた。

肺内の腫瘍位置による影響では、肺腫瘍が肺門にある場合は、3-D CRTで20%以上の線量体積は減らせるが、10%線量体積は著しく増加していた。

<考察>

最近では、脳腫瘍や肺癌の治療において、3-D CRTの利用が進められている。10-100 cc程度のPTVは従来の放射線治療の精度では治療できないが、脳定位装置を使う精度までは要求されない領域で、今後3-D CRTの利用が期待される領域である。今回の検討で、脳および肺における10-100cc程度の3-D CRTは、中間的な%線量体積を軽減できることが示された。

各臓器の放射線合併症は、それぞれの臓器によって耐えられる線量が異なるため、臓器毎に最適な線量分布が異なる。いっぽう、一口に3-D CRTと言っても数cmの照射野の径の違いで、DVHは大きく変化する。今回の解析では、治療条件毎のDVHの変化を知ること、各臓器に合った3-D CRTの照射条件を知ることができることを示した。

脳では2x2~7x7cm²の照射野で3-DCRTは50%線量領域の体積を減らせることがわかった。腫瘍中心で66 Gyを33回で照射した場合、50%線量領域は33 Gy/33回である。これは脳への晩期障害、血管への障害が出現し得る線量である。50%-80%線量は放射線壊死も起き得る線量となる。したがって、脳の治療で7x7 cm²以下の照射野が適応される疾患では3-D CRTが治療の選択肢に入ると考えられる。しかし、5x5 cm²以上の照射野では、

20%線量体積が増え、20%線量は 13.2Gy/33 回である。この線量は晩期障害がおきる可能性は非常に少ない線量である。5x5 cm²以上の照射野(4cm 以上の腫瘍)であっても 3-D CRT の使用が望ましいことが示された。

肺に関しては、一般的には 15 Gy/10 回以下での肺線維症の発生はまれである。3-D CRT は 20%を超える線量の体積を減らしていた。治療線量 60Gy/10 回を想定すると、20%線量は 12Gy/10 回であり、3-D CRT が肺線維症の起きる体積を減らせる可能性を強く示唆する。限局肺臓炎の場合、臨床的症状が出ることはまれであり、3-D CRT は臨床的な副作用をへらせることを示唆された。肺腫瘍の位置が最適な治療条件に及ぼす影響は小さく、多くの部位で 3-D CRT は中間的%線量の体積を軽減できる。

<結論>

10—100cc 程度の 3-D CRT に関する系統的検討を DVH を用いて脳と肺に関して行った。この範囲の体積において、3-D CRT は従来の同一軌道面照射に比べて中間的%線量領域の体積を軽減できることが示唆された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宮 坂 和 男
副 査 教 授 阿 部 弘
副 査 教 授 川 上 義 和

学 位 論 文 題 名

脳及び肺腫瘍に対する小照射野を用いた 3 次元 conformal 照射法の Dose Volume Statistics を用いた評価

3次元conformal照射(three-dimensional conformal radiotherapy、3-D CRT)は、3次元的にいろいろな角度から腫瘍に照射ビームを集中させる技術であり、合併症が少なく治療効果が高い放射線治療として、脳や肺のいろいろな大きさの疾患に適応が広がってきた。しかし、1990年代前半に発達した定位手術的照射が使われる10cc以下と、従来の放射線治療で良く使われる100cc以上の中間、すなわち10 ccから100 cc程度の領域では、3-D CRTの照射条件の最適化に関する研究がなかった。そこで今回、10-100ccの標的体積に3-D CRTを用いた場合の最適な照射条件を脳腫瘍および肺癌の単純なモデルに対して、3次元治療計算装置を用いて解析した。脳および両肺の全臓器とその周囲臓器を含んでCT画像を撮影し、そのデータを3次元治療計画装置(Focus, CMS)に送り、仮想腫瘍にたいし3次元conformal照射法を行った場合と従来の対向2門法を用いた場合の空間線量分布を比較した。いずれの照射法も単純化のために正方形照射野を用い照射野は2x2 cm², 3x3 cm², 4x4 cm², 5x5 cm², 6x6 cm², 7x7 cm² (脳のみ)を用いた。各照射法の空間線量分布の比較は3次元治療計画装置 (Focus)によるDVH(dose volume histogram)により行い、20%線量の照射された体積(20%線量体積)、50%線量の照射された体積(50%線量体積)、50%線量の照射された体積から80%線量の照射された体積を差し引いた体積(50%-80%体積)について検討した。大脳中央付近(松果体付近)の脳腫瘍を想定して同一軌道面での左右対向2門照射、同一軌道面での5門照射、3-D CRTを行った場合の3方法それぞれについ

て20%線量体積は、照射野が $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 以下の場合は、3-D CRT が2門照射、5門照射よりも小さかった。しかし、 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ を超える照射野で、3-D CRTの方がその体積は大きかった。50%線量体積は、 $2 \times 2 \sim 7 \times 7 \text{ cm}^2$ 全てにおいてこの逆転はおこらず、3-D CRTが2門、5門照射よりも小さかった。50%–80%体積は、3-D CRTが2門、5門照射よりも $2 \times 2 \sim 7 \times 7 \text{ cm}^2$ の範囲で小さかった。

中肺野末梢型肺癌において、同一軌道面での前後対向2門照射、同一軌道面での3門照射、同一軌道面での回転照射、3-D CRTを行った場合の4方法それぞれについて各照射野でのDVHを比較した。 $2 \times 2 \sim 6 \times 6 \text{ cm}^2$ の照射野サイズに渡って、3-D CRTは同一軌道面の治療に比べて50%線量体積および50%–80%体積を軽減できることが分かった。肺内の腫瘍位置による影響では、肺腫瘍が肺門にある場合は、3-D CRTで20%以上の線量体積は減らせるが、10%線量体積は増加していた。

口頭発表に際し、阿部教授より20%線量容積の $5 \times 5 \text{ cm}$ 以上での逆転の理由について、及び腫瘍が不正形の場合の対応について、川上教授より腫瘍の呼吸性移動の問題、及び生物学的指標を用いた照射方法の比較について、また宮坂教授より前頭葉に腫瘍がある場合の3-D CRTによる水晶体、視交叉等への影響、向後3-D CRTと従来法の使い分けについて質問がなされた。申請者は照射野辺縁の重なりによる低線量域の増加、マルチリーフコリメーターによる不正形腫瘍への対応、呼吸移動を加味した照射容積の設定また呼吸同期照射法の可能性、血管や肺組織の晩期障害等の生物学的指標を用いた照射法の比較の可能性、3次元治療計画装置による照射野からの重要器官組織の注意深い除外等について、自験例および文献にもとずき概ね妥当な回答を行った。これまで中間的容積の腫瘍にたいし3-D CRTが有効であることを、DVHという物理的指標を用い明確に示した研究はなく、本論文は日本放射線腫瘍学会において注目されている。審査員一同は、これらの成果を高く評価し、臨床における研鑽および関連する研究発表などを併せ申請者が博士（医学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。