技術報告

10 MV X 線 Linac 装置の照射ヘッド内誘導放射能†

三枝健二, 有水 昇

千葉大学医学部放射線医学教室

280 千葉市亥鼻1-8-1

1981年10月3日 受理

Key Words: linear accelerator, treatment head, induced radioactivity, photoneutron, tungsten-187, gold-196

1. はじめに

高エネルギー放射線治療装置の一つである直線加速器(以下, Linac と記す)は, ここ数年, ^{60}Co , ベータトロンなどの治療装置に比べ, その利用が急速に増大している¹⁾。そして, X線エネルギーも4~6 MV から10~15 MV と高くなる傾向を示している。このように高エネルギーX線が照射されると, 4~6 MV X線では起こらなかった光核反応 $[(\gamma, n), (\gamma, p)$ 反応]が起り, なかでも中性子の発生が問題となることはよく知られている。そのため, 最近では照射ヘッド, あるいは治療室内の漏洩中性子線の測定が行われている^{2)~4)}。中性子線の影響は治療患者および従事者の被曝線量を評価するうえで重要であるが, 中性子の関与している被曝源として, これ以外に, X線・中性子と照射ヘッド内周辺物質との反応による放射性元素の生成が挙げられる。この生成核種による体外被曝はほとんど無視できると思われるが, 非照射時照射ヘッド部の解体・修理などを行う作業者には放射能汚染をひき起こすことが十分予想され, この点の検討も必要と考える。今回, われわれは10 MV X線 Linac について, 照射ヘッド内でX線・中性子との反応で生成された放射性核種の同定を試みたので報告する。

2. 測定方法

使用した Linac は NEC 社製 NELAC-1018型で, 10 MV X線および電子線(6~18 MeVの範囲で5段可変)照射が可能である。生成放射性核種の γ 線スペク

トル測定にはアプテック社製, 有効容積 66 cm³ の高純度ゲルマニウム半導体検出器(以下, Ge 検出器と記す)と1,000チャンネル多重波高分析器(MC社製 MCA-1000型)を使用した。また, 非照射時照射ヘッド周辺の漏洩放射線の検出にはシンチレーションセンサーバイメータ(アロカ社製 TCS-121C型)を用いた。 γ 線スペクトルの測定は照射ヘッドを水平位置に保持し, Ge 検出器部を照射ヘッド内中央部に挿入した位置(ターゲットから約33 cm), または回転中心位置(ターゲットから1 m)に固定, 1,000 または 2,000 秒計測で行った。また, 生成核種の物理的半減期を求めるため, 別に500秒計測で経時的に6時間まで計9回の測定を繰り返した。なお, 測定前回転中心でX線出力3 Gy (300 rad)/分により, 32件(延べ照射時間22分)の患者を治療している。

3. 測定結果

3.1 照射ヘッド内外での γ 線スペクトル

Fig. 1に照射ヘッド内 γ 線スペクトルの測定結果(上側・印)を示す。横軸はチャンネル数で, チャンネル当たり約2 keV の γ 線エネルギーに相当する。縦軸は2,000秒当たりの計数である。Fig. 1中, 下側×印は治療室内袖壁外側迷路(照射ヘッドが直視できない位置)での γ 線スペクトルで, 室内バックグラウンドに相当する。Fig. 1中, ・印, ×印とも730チャンネル付近に比較的高いピークを見るが, これは天然に存在する ^{40}K (1.46 MeV) によるものである。400チャンネル以下に見られる多数のピークは照射ヘッド内の誘導放射能によるものである。また, 照射ヘッドからの漏洩放射線を把握するため, 回転中心位置での γ 線スペクトルを同時に求めた。照射ヘッド内に比べ, 各ピーク計数率が1桁前後低かったが, Fig. 1と同じピークが認め

† Induced Radioactivities in Treatment Head of 10 MV X-ray Linear Accelerator. Kenji SAEGUSA and Noboru ARIMIZU: Department of Radiology, School of Medicine, Chiba University, 1-8-1, Inohana, Chiba-shi 280.

Fig. 1 Gamma ray spectra at the inside of the Linac head and the background measured outside of the concrete barrier.

られた。なお、回転中心ではバックグラウンドレベルのほぼ2倍のレベルを示した。

3・2 照射ヘッド内での経時的 γ 線スペクトル

γ 線スペクトルの各ピークから生成核種を同定するには、さらに物理的半減期が必要である。Fig. 2に初回(0時)、9回(6時間後)およびバックグラウンドの各 γ 線スペクトルを示す。各ピークの減衰が一定でなく、半減期の異なる核種の混在が容易に判別できる。これら経時的 γ 線スペクトルの各ピーク減衰曲線から半減期を算出した。Fig. 3, Fig. 4の横軸は経過時間、縦軸はピークを含むチャンネルの計数を片対数で

Fig. 2 Gamma ray spectra in the Linac head at 0 hour (first measurement) and 6 hours later, and the background measured outside of the concrete barrier.

Fig. 3 Net count-rate measured at each energy peak decreases with time goes by, indicating decay curves of induced radionuclide. These curves show the evidence of ^{187}W (left) and ^{116m}In (right).

Fig. 4 Net count-rate measured at each energy peak decreases with time goes by, indicating decay curves of induced radionuclide. These curves show the evidence of ^{196}Au (left) and ^{56}Mn (right).

示したもので、減衰傾向の似た各ピークをまとめてある。判別できたピークの全数は30あるが、計数率の低いピークでは統計的変動によるバラツキが見られ (Fig. 3, 4 中, 点線), 半減期を求めるデータから除いた。また、一部のチャンネルで減衰曲線が2相性を示しているが、これは2核種以上が複合しているため、やはりデータから除外した。これら各ピーク γ 線エネルギーと半減期から4つの生成核種が同定できた。Fig. 3, Fig. 4 の各グラフ中、無印の実線が同定核種の減衰曲線で、Fig. 3 左が ^{187}W (半減期: 24時), 同右 $^{116\text{m}}\text{In}$ (半減期: 54分), Fig. 4 左 ^{196}Au (半減期: 6.18日), 同右 ^{56}Mn (半減期: 2.58時)である。

3.3 照射ヘッド周辺の漏洩放射線

1日の照射終了後、照射ヘッド周辺の漏洩放射線をサーベイした。Fig. 5にそのサーベイの直読値を示す。厳密な放射線量ではないが、 $1.548\text{nC/kg}\cdot\text{h}$ ($6\mu\text{R/h}$)のバックグラウンドレベルに対し、照射ヘッド周辺では、この3~5倍($4.644\sim 6.450\text{nC/kg}\cdot\text{h}$ ($18\sim 25\mu\text{R/h}$)), 回転中心で2倍($3.354\text{nC/kg}\cdot\text{h}$ ($13\mu\text{R/h}$))の値を示している。照射ヘッド内では $21.93\sim 33.54\text{nC/kg}\cdot\text{h}$ ($85\sim 130\mu\text{R/h}$)と1桁以上の高値である。

Fig. 5 Survey data of the leakage radiation from the Linac head. ($1\text{ C/kg}=3876\text{ R}$)

4. 考 察

W, Pb, Pt のように高原子番号の物質は光中性子断面積の光子エネルギーしきい値 (以下、しきい値と記す) が7~8 MeV 付近にあるため、X線エネルギー10~15 MeV の Linac では光中性子発生数が増大する。これら発生する光中性子数を減少させるため、一部の装置ではターゲット、フラットニングフィルタなどにしきい値の高い材質が使われている。本研究に使用した Linac はターゲットに Cu(しきい値: 9.9 MeV) を使用しているため、ターゲットよりむしろフラット

ニングフィルタ (W使用) からの光中性子発生が大きい。その他、照射ヘッド内には主コリメータ (W使用)、遮蔽材 (W, Pb, Fe 使用) などあるので、これらは多少なりとも中性子源として寄与している。照射ヘッドの構成物質はほとんどが W, Pb, Fe であり、これらから生ずる中性子により、また放射化される結果となる。今回は6時間までの測定から照射ヘッド内の誘導放射能として4核種を同定したが、さらに長時間の測定が望ましい。反応形式は Au の (γ, n) 反応を除き、他は (n, γ) 反応と推定される。Wを除く3核種は照射ヘッド内の構成材質にないが、不純物の微量含有、部品中のわずかな使用が考えられる。たとえば、Auはイオンチェンバ内のスパッタリングに微量存在し、またターゲット中に不純物として極微量含有していることなどである。また、Ge検出器と放射化された部品、材料の幾何学的位置関係、放射線源との距離が把握できれば定量も可能であろうが、今回は行っていない。ただ、その生成放射能はあまり高いとは考えられず、たかだか数 μCi ($\sim 10^5\text{ Bq}$)以下と想像される。非照射時照射ヘッドからの漏洩放射線による従事者の被曝線量については、そこに滞在する時間が比較的短く、あまり問題にはならない。

5. ま と め

10MV Linac X線あるいはその光核反応により、照射ヘッド内に生成される放射性核種について調べた。 γ 線スペクトルのピークエネルギーおよびその半減期より、 ^{196}Au , ^{187}W , $^{116\text{m}}\text{In}$, ^{56}Mn の4核種が同定できた。誘導放射能の定量は行っていないが、たかだか数 μCi ($\sim 10^5\text{ Bq}$)以下と考えられ、従事者への体外被曝は問題とならない。

文 献

- 1) 科学技術庁原子力安全局編:「放射線利用統計」, p. 13, 日本アイソトープ協会, 東京 (1980)
- 2) McCall, R.C. and Swanson, W.P.: Proceedings of a Conference on Neutron from Electron Medical Accelerators, pp. 75~86, N.B.S., Washington (1979)
- 3) McGinley, P.H. and Schrabi, M.: *ibid.*, pp. 99~107, N.B.S., Washington (1979)
- 4) Tochilin, E. and La Riviere, P.D.: *ibid.*, pp. 145~54, N.B.S., Washington (1979)