

[A18a07]

A MINIATURE LINEAR ACCELERATOR FOR MEDICAL APPLICATIONS

Eiji Tanabe

AET Japan, Inc.

WAKA Bldg. 1-3-4, Kamiasao, Asaoku,
Kawasaki-city, Kanagawa, Japan

Abstract

The electron linear accelerator has become the dominant radiation therapy device since it was first introduced in the early 1950's. Currently, there are more than 5500 medical electron linear accelerators in operation in the world, treating over 120,000 patients per day. This paper reviews the current status of radiation therapy technology and the anticipated requirements for new accelerator technology in the near future.

超小型リニアックの医療応用

1. 放射線治療の現状

癌は殆どの先進国で死亡原因の第1位となっている。一生の内2人に1人が何らかの形の悪性腫瘍を体内に形成すると言われている。欧米では癌患者の内5割近くに何らかの放射線治療が施され、放射線による治癒率は55%以上に至っているが、残念ながら日本国内では諸々の事情により放射線治療によるこれらの数字がその半分くらいにとどまっている。又放射線治療医は全国で400人弱(米国3200人強)であり全医師の23万人の0.2%に満たない。国内のリニアック数700台に比べても相当数不足している。又医療放射線物理士に至っては全国に50人弱しかない。一方、ブラッグピーク効果による線量分布の優位性と相対的生物効果の期待により国内では超大型の陽子線及び重粒子線を使った放射線治療装置が各所で開設されている。当然これらの大型の複雑な装置を使った治療には装置のみならずそれを担当する専門のスタッフや緻密な治療計画等を必要とする為、装置の維持費を含め多大なコストがかかるものと考えられる。

我が国の癌患者数が年間35万人にも達しその内、放射線で治療されるべき人数が年間10万人以上に達している今、万人の為に小型で治療効果の高いしかもトータルコストの低いシステムの開発が望まれる。

2. 放射線治療用のリニアック

放射線治療での最大の課題はつねに如何に正常組織に線量を与える事なく目的の癌組織にのみ線量を与えるかである。放射線治療用電子リニアックでは放射線を色々な方向から与える事により患部での線量を最大、最適化する為360°回転出来るガントリー台にリニアックがのせられている。

近年のコンピュータ技術の向上と照射機器の出力や精度の発達により、多段コクメータを使った原体照射がさかんになりつつある。これらの技術を使う事により一方向からのブラッグピークを使った重粒子線線量分布と同じ深部の線量分布が可能である。しかし原体照射においても治療部位の確定と治療計画はリニアック室とは別の部

屋で行われるので精度を上げるのに限界がある。同時に臓器は時間的に動く場合が多く又放射線に対する感受性の高い正常組織（例えば中枢神経、骨髄、脾臓等）は精度良くさせなければならずリアルタイムでターゲットを定めながら同時に放射線を照射する必要がある。

これらの点を総合すると将来の治療用電子線加速器としては次の様な条件を満足させる必要があると思われる。

- ① X線ビームは0.1 mmの精度でコントロール出来る事。
- ② 単位時間当たりの線量を充分取れる事 (100MU/sec)、従って平均加速電流が出来るだけ高い事。
- ③ 電流ビームのサイズは出来るだけ小さい事 (ϕ 1mm 以下)。
- ④ 時間的、空間的に100%のX線ビームのコントロールが可能である事。
- ⑤ コンパクトである事。

これらを考慮しながら以下に2つの新しいタイプの放射線治療用のシステムを考えてみる。図1にその1つとして原体照射の究極の型である Tomotherapy (断層照射) の装置のコンセプトを示す。考え方としてはスパイラルCTの全く逆を行う事である。即ちある巾をもった扇状にコリメートされた治療用 X 線ビームに無数のコリメータを時間と空間でコントロールしながら横から挿入する事により扇状ビームに変調かける。このビームを回転させながら目標の2次元的な組織に一樣な線量を与えると同時に360°回転毎にビームの巾だけ治療台が進む事により3次元的に一樣な線量の分布を目的の組織に形成する方法である。この装置にはスパイラルCTの機能が同時にあり、ターゲットボリュームの情報リアルタイムに加速器システムにフィードバックされる様になっている。もう1つは Stereotactic radiotherapy (集光照射) と呼ばれる方法であり主として頭蓋内の病変に対して行われる。リニ

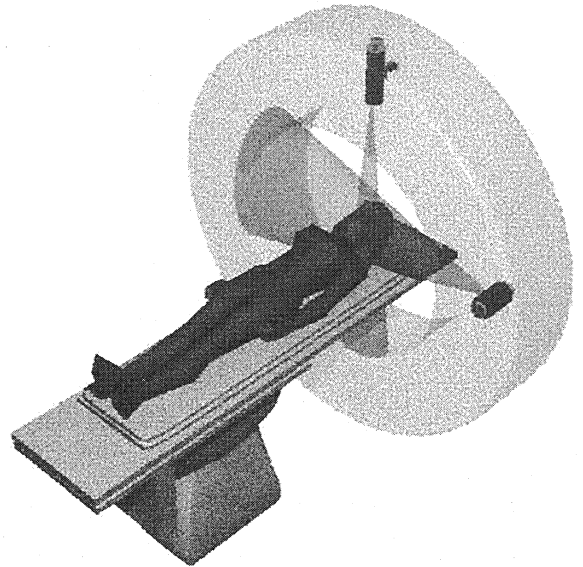


Fig.1. Tomotherapy Concept.

アックを頭蓋の廻りに完全なる自由度で3次元的にロボット制御を行う装置もあるが自由度が余りにも多く制御が複雑なのでここでは2つのロータリージョイントを組み合わせた新しい集光照射の方法を図2に示す。この装置もリアルタイムに目標とする頭蓋内の情報を加速器にフィードバック出来るシステムが必要である。

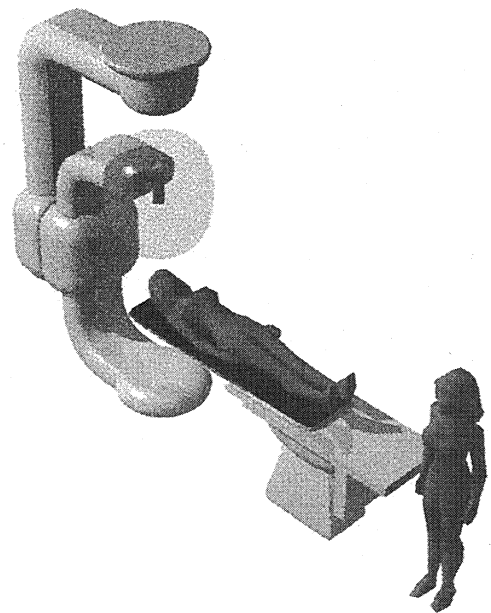


Fig.2. Stereotactic Radiotherapy Concept.

3. 超小型リニアック

これらの応用をベースとするリニアックを考えると加速管の長さは約20cm強でX線のエネルギーは10MV必要なのでビームの加速こう配としては50MV/mとなり現在のリニアコライダー技術の延長上にある。表1にこのリニアックのパラメータをまとめてみた。この加速管によるX線出力は $10 \times 10 \text{ cm}^2$ の照射野でSSDが100cmの場合100 MU/secが期待出来る。

Table I

ACCELERATOR LENGTH(cm):	23
STRUCTURE:	SIDE-COUPLED STANDING WAVE
NUMBER OF ACC. CAVITIES:	9
FREQUENCY(MHz):	5712
ENERGY (MeV):	10
BEAM CURRENT (mA):	600
BEAM PULSE WIDTH(μ sec):	4
REP. RATE(PPS):	240pps
RF PEAK POWER (MW):	11
SHUNT IMPEDANCE(M Ω /m):	140
LOAD LINE (MeV):	15-8 i

これらの新しい装置開発の為に必要とされる超小型リニアックとしてC-バンドを選んだ理由は以下である。

- ①コンパクトに出来る。
 - ②高電界加速が可能である。
 - ③大電流の安定した加速が可能である。
 - ④RF電源を含めた加速器の工作精度が現在の技術の延長上にある。
 - ⑤シャントインピーダンスが高くとれる。
- 超小型にする為グリッド付の電子銃、プリバンチャー、加速管、ターゲットが一体型となったシステムを図3に示す。

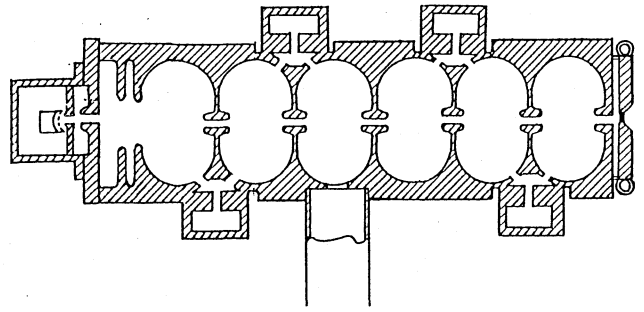


Fig.3. Miniature Linac Structure

小型化の為、電子銃の電圧は20KV以下で動作させる様に設計されている。プリバンチャーへの電力は第1空洞より π モードのカップリングで与えられる。電子エネルギーが2MeV以上になるまでバンチャー部ではON-AXISタイプの定在波型加速管になっている。

4. まとめ

放射線治療は有効であるのに我が国に於いての社会的評価は諸々の事情により低い。本文で述べた加速器の技術は放射線治療システムのほんの一部ではあるが、QAの確保された有効性が高いしかもコストの低い放射線治療装置が早期に開発され実用化される事が望ましい。

参考文献

- [1] C.J.Karzmak, C.S. Nunan and E. Tanabe, "Medical Electron Accelerators", McGraw Hill, Inc.1993
- [2] T.R. Mackie, et al. "Tomotherapy: A new concept for the delivery of dynamic conformal radiotherapy", Med. Phys.20, 1709-1719, 1993
- [3] W.Lutz, et al. "A system for stereo-tactic radio surgery with a linear accelerator", Int. J. Radiation Oncology Biol., 14, 373-381,1988