

次世代の陽子線照射技術を考える

榮武二

陽子線医学利用研究センター
人間総合科学研究科先端応用医学専攻教授
(さかえ たけじ／医学物理学)

陽子線治療の現状

60年前に原子核物理学の研究者が考え出した陽子線治療は、コンピューターの進歩で実用的になった診断装置の助けにより、副作用を抑えられる使いやすい外部放射線治療として認められつつある。初期コストと維持コストが大きいという課題を抱えつつも平成19年現在、放医研の重イオン線治療を含めて国内では6施設が稼働中であり、建造中と計画中の施設を加えると数年で倍以上の施設が国内で稼働していることになる。筑波大学は、陽子線治療の本格的な臨床応用を国内で最も早く始めており治療患者数は現在1800人を越えている。体幹部の呼吸同期照射等の実績は世界的にも先駆性が認められている。

現在使用している照射技術は初期の頃に考案されたブロードビーム法であり、シンプルで信頼性が高いのが特徴である。散乱体等により広げられたビームは、エネルギーを変化させ混ぜる機能のリッジフィルター等により、深部方向に必要な線量分布

の広がりを作る。図1は、エネルギーが混ざることにより深部方向に100mmの幅の拡大ブラッグピーク (SOBP) が作られる例である。

この方法は、照射条件の再現が容易で線量管理が精度良くできる利点があるが、線

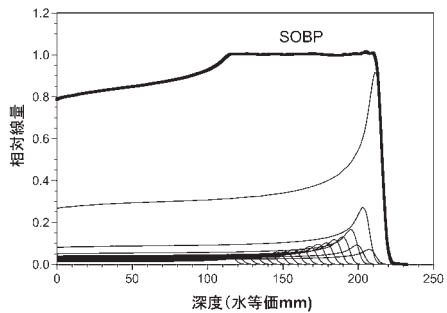


図1 拡大ブラッグピーク

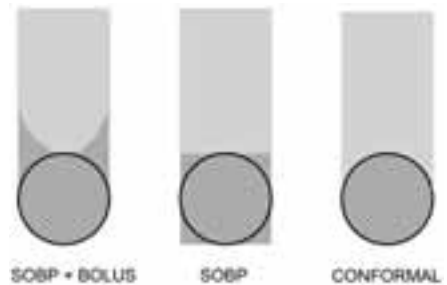


図2 標的に沿ったコンフォーマル照射

量分布は最適とは言い難い。

図2に、現在使用している方法と標的の形状に合わせるコンフォーマル照射の違いを示す。現在の方法では、ボラスと呼ばれる飛程調整フィルターを使って標的の最深部に線量分布を合わせており、図2の左側の分布となる。ボラス無しでは中央の分布であり、いずれも正常組織に最大線量の一部がはみ出すことになる。右側をコンフォーマル分布と呼んでいる。この分布を実現するためのアイデアも初期の頃に出されている。細いビームを使うスキランニングである。

スキランニングの良し悪し

標的が動かず、標的周辺の密度や形状の変化が無く、照射装置にトラブルが無いという条件ならば、スキランニングは理想的な照射方法である。実際の臨床では、起こってほしくないあらゆる現象は、それぞれの発生確率に従って起こってしまう。そ

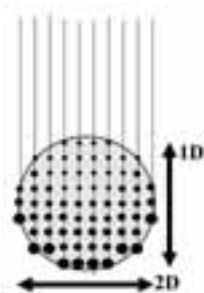


図3 スキランニング照射

の場合でも安全を担保できる照射方法でなければ実用化は難しい。スキランニングの場合、照射位置のずれ、呼吸等の動き、機器トラブルは、小さく分けられた照射野のつなぎ目で大きな線量変化を作ってしまう。極端な場合、同じ位置に二倍の線量を与えたり、照射されない領域ができたりする。この問題を解決する方法の1つは高速なスキランニングにより、多数回の照射で必要線量を得る方法であり、これにより部分的な線量変化の影響を抑えることができる。この方法も技術開発の目標とすべきであるが、もう一つシンプルな方法がある。

安心して使える方法

現状の方法で使われるリッジフィルターは、断面が三角形であり、吸収体の厚みを分布させてエネルギーの混ぜ方を調整している。

この形状を微細化し、積層化し、全体の厚みの形状を標的に合わせれば、場所によってSOBPを調節でき、コンフォーマル照射が静的な照射で実現できる。これが筆者の考案した積層型エネルギーフィルターである。SOBPの幅に依存して線量が変わる等の問題もあるが、この方法では従来の方法と同様の信頼性が得られ、線量管理も容易である。動きや変化に対して、極端な線量の変化が現れない、まさに安心して使

える方法である。

図5は、球状の標的に線量分布を合わせるための積層型フィルターとボラスの例

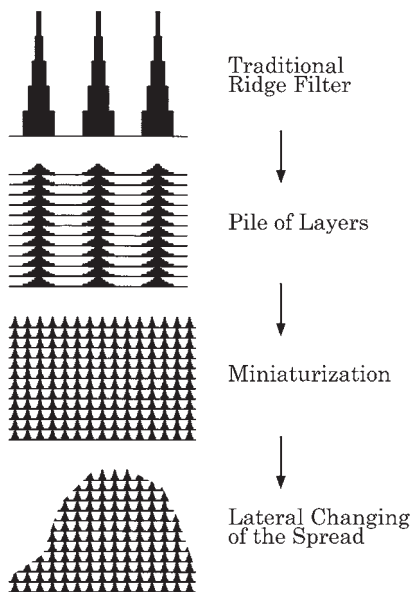


図4 積層エネルギーフィルター



図5 積層型エネルギーフィルターの例

である。光造形という新しい加工法が出現したおかげで、このフィルターは実際に作ることができる。このフィルターの特徴を活かす新しい照射方法があるだろうか。

積層エネルギーフィルターを使う方法

標的の近傍に重要臓器がある場合、重要臓器に与える線量を抑え、標的には十分な線量を与える必要がある。このような1例に対して、積層型エネルギーフィルターを利用した方法の概略を図に示す。

図6の最初の照射では、深部方向の幅がAとCでは広く、Bでは狭くなるように積層型

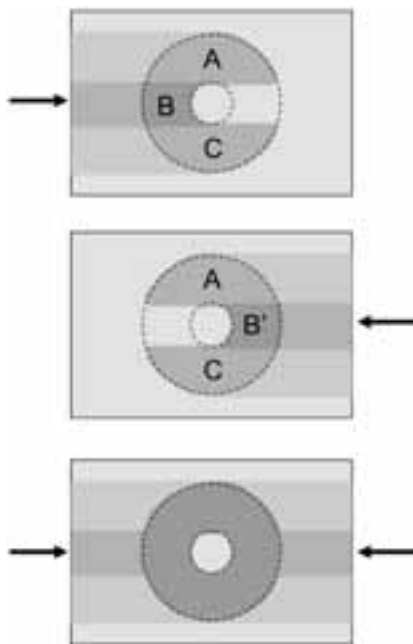


図6 新しい方法

エネルギーフィルターで照射を行う。次の対向からの照射では、AとCに対して分布を重ねて照射し、B'に対しては狭い照射野を作る。BとB'の照射は1回で必要線量になるようにし、他は2回の照射で必要線量を与える。合計の分布が最後の図である。この方法の特徴は、深部方向の密度変化、変形による飛程の変動の影響が、局所的な線量の変動を作らないことであり、2方向照射で、信頼性を保ちながら、中心付近に線量ゼロの領域を実現できる。この場合、上下方向の照射位置がずれると線量分布が悪くなるが、左右2方向を連続して照射することにより位置精度は十分に高くできると考えられる。図は簡単のため、線量の平坦度が良いように書いたが、実際にはSOBPの幅に依存する変化が現れる。

まとめ

医学利用のための新しい技術は、固有の安全性を持っているべきである。10年後の陽子線照射技術が、実用的な最新技術として認められるよう努力したい。