

施設紹介

筑波大学陽子線医学利用研究センター (PMRC)

馳澤 憲二 奥村 敏之 秋根 康之

筑波大学臨床医学系

センターの概要

陽子線治療には加速器が必要で、現在実際に治療を行っている筑波大学陽子線医学利用研究センター分室は筑波山の麓153万1千平方メートルという広大な敷地を持つ文部省高エネルギー加速器研究機構 (KEK) のなかにある。元来この加速器は素粒子特にクォークの解明の為に作られたもので、発生させた陽子線のビームを500MeVから基本的に250MeVに変換して医療に利用している。陽子線治療そのものは1983年から開始され治療ビームは当初垂直照射のみだったが約2年後から水平照射も治療に利用され、現在のところビームを地上1階と地下2階の別々の部屋に振り分けこの固定の2門で治療を行っている。分室はこのような筑波大学とは敷地を異にしており、我々は筑波大学付属病院に入院している患者をここへバスで移送し日常の治療を行い、我々も患者と共に筑波大から移動せねばならない。また医療専用の施設ではないので通常のLINACの様に毎日治療が出来るわけではない。このような様々な不便を解消するため後述べるように現在病院の直ぐ横に医療専用の陽子線治療施設を建設中である。陽子線医学利用研究センターの特長の一つは物理・工学を担当するスタッフが多いことで、医師3人技師2人に対し医療関係では珍

しく6人もの教官が治療計画や照射技術などのハードやソフト面での研究や開発を進めており、日本で初めての陽子線治療施設として(垂直ビーム治療施設としては世界初)まだ医学利用の歴史の浅い陽子線の安全で効率的かつ効果的な活用の方法を患者の治療研究と並行して探求して行く上で大きな力となっている。

陽子線治療

陽子線治療はご存じの通り放射線治療の一種であるが、陽子という粒子を体内に送り込むため吸収線量が集中する点、いわゆるBragg peakを持ち、それより深部では線量は急速に落ちる深さ以降では線量はほぼ0になる。この性質をうまく利用すると標的のすぐ近傍に放射線をあてたくない器官があってもこれを避けて照射することが出来、一般的なLINACによるX線では副作用が強く出て治療困難な腫瘍等の治療が可能になる。原理的には入射する方向から見て照射したい部分(=標的)より奥の線量は0に出来、手前側もPeakの40%程度しか照射されないが、実際には標的には幅があるためPeakの幅をこれに合わせて広げる必要があり手前側の線量は80%弱程度になってしまうことが多い。しかしながらそれでも例えば対向2門で照射した場合、X線では標的の外側の線量もほぼ標的と同じになってしまうのに対し陽子線では約40%に出来、その分患者さんの放射線被曝による負担が少なくて済む。また重イオンと違い吸収した組織での細胞学的な効果はX線に近似し治療効果や副作用の予想は比較的容易といえる。周知の様にX線の治療はいかに副作用を抑えるかということが治療の正否を左右する最も大きな要因である。つまりどのような細胞でも単純に放射線の照射量を増やして行けば必ず死滅するわけで、通常X線が効く効かないと言っているのは周囲の組織が安全な範囲で標的に照射できる線量に限界があるため、周囲の組織の放射線感受性や体の中で果たす役割によって照射可能な線量が



高エネルギー加速器研究機構



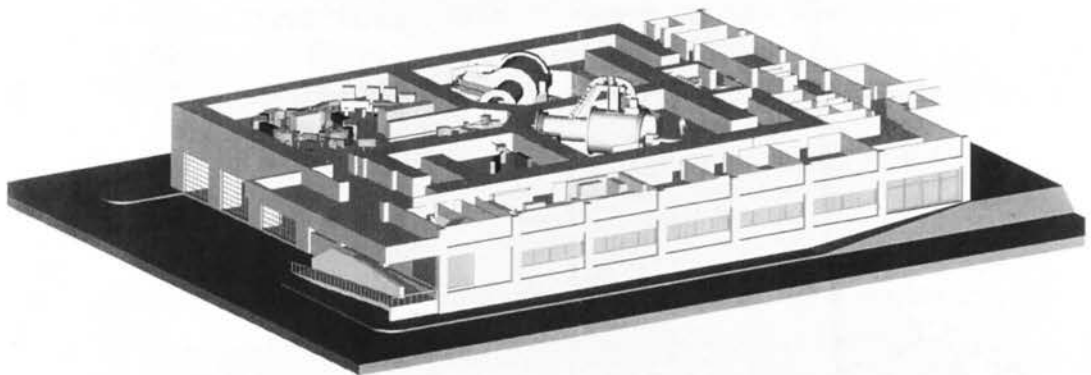
新陽子線医学利用研究センターの外観(予想図)

制限され、腫瘍の制御に十分な照射が行えない場合が多々有るからである。陽子線治療は先に述べた様に通常の放射線治療の副作用を低減し、その分標的に十分な線量を与えることが出来るためX線治療の範囲を更に広げることが出来、いままでは治療困難であった癌などを治癒する途を開く道具として非常に有効と考えられる。治療の対象は体のどこにあっても良いが、実際に我々のこの約15年間の治療研究で最も多かったのが肝臓癌で次に食道癌、肺癌などが続いている。それはこういった腫瘍が通常のX線治療単独での治癒が難しいことや手術による侵襲が大きく陽子線治療の利点が生かしやすいことによるものと思われる。X線治療でも患者の動きにどう対処するかは重要な問題だが副作用が低減するという利点を十分に

いかすため陽子線治療では更にこの点が重要になる。我々は固定具などを工夫すると共に特に呼吸による標的の移動に対処するため呼吸同期装置をメーカー(安西メディカル)の協力のもとに開発し1992年5月より治療に導入している。この装置は呼吸のある部分でのみ照射を行うことを可能にするもので息止めをせずに息止めをしているのと同じ様な治療が可能になり、たいいては最も臓器の移動の少ない呼気の一定期間のみに陽子線を照射して治療を行っている。

治療の実際

先に少し述べたが当センターはKEKのブースターシンクロトロン加速器から供給される500MeVの陽子(水中飛程約116cm)をエネルギー減衰装置で望ましいエネルギーに下げている。この装置では150MeVから300MeVまで50MeV毎に取り出すことが可能で基本的には250MeV(水中飛程約38cm)に変換して利用している。ビーム強度はこの際数百分の1となり治療の照射基準点(アイソセンター)に与える線量率は現在2~2.5 Gy/minとなっている。ビームはコリメーターで形を整えられウェッジフィルターで標的に合わせたSOBP(Spread Out Bragg Peak, 標的の奥行き)の深さに対応)を与えられ更に何段階かのコリメーターと標的の奥側の立体的な形状に対応したボラスを通過して患者の体内に入る。我々は治療に先立ち治療時と同じ固定具を使用して同一体位でCTを



新陽子線医学利用研究センター内部(予想図)

撮影しこのCTを元に治療計画を立てる。陽子線治療では体内を通過する陽子線の飛程をCT値から計算するため必ずCTを撮影する必要がある。そして立てた計画に基づき個々人の標的の形に合わせたボースを作成するところが通常のX線治療と最も違うところであろう。陽子線治療は保険で認められた医療ではなくまだ高度先進医療の指定も受けていないため現段階では研究治療と言うことになる。従って患者には研究であり、評価がまだ充分定まって居らず予期せぬ副作用が出る可能性もあるということを必ず説明する必要がある、かつ治療可能な症例でも陽子線の必然性のない症例はお断りしなければならない。こういった側面や治療が限られた日の限られた時間にしか出来ないという制約のもとで現在までに約600名の患者に治療を行い。単独疾患として最も多い肝癌で漸く200名弱の治療を完遂できた。効果は肝癌で治療5年後の局所制御率が90%に達し、肺癌(T1、T2)で70数%。食道癌で45%。生存率は色々な状態の患者を含むことと手術などや他の治療が可能な症例は陽子線治療の依頼が少ないことなどから単純な比較は難しいが、陽子線単独では肝癌で肝硬変の比較的軽いChild Aで3年生存率74%、肝硬変がかなり末期的に進行したChild Cで30%、肺癌で50%(一部X線併用、T1、T2症例でT2が約7割、5生率38%)と手術を凌ぐ効果を見せており高齢者や他病併発例で手術不可能な患者を多く含むことを考えれば充分効果の高い療法と言えると思う。

新センターと今後の展開

陽子線医学利用研究センターも前身である粒子線医科学センターを含めると開設から既に約15年を経、照射装置も改良を重ねて来たとはいえ、そろそろ新時代の要請に答えづらくなっていることは否めない、また治療専用の施設ではないため上に記したような

制約が多く十分な治療を行うことが出来ない。こうした理由から新たな陽子線治療施設を建設する必要が高まり1997年に最初の予算がつき設立の運びとなった。新センターは先に述べたように病院の横で外来棟と直結され通年で治療を行うことが出来る。照射装置は回転ガントリーを2基持ち、他に研究用のポートを1基(これは物理実験と生物実験に振り分けられる)備えている。加速装置も専用で270MeVまでのビームを供給出来る。呼吸同期装置を併用すると実際の照射の間に待ち時間が生じるため治療時間が3~4倍に延びるが、新しい治療機では呼吸同期を併用しても2Gy/minの線量率を維持することが出来る。センターそのものは4階建て床面積5千平方メートルの大きなものでCT、MRなど独自の診断・治療計画装置を備え、物理・生物の研究設備なども付随する予定である。陽子線治療は高額な設備が必要となるが、いままでのLINACで治療困難であった症例に治療の途を開くだけでなく、副作用が少なく患者の身体的な負担を大きく軽減できる面で他の療法に比べて利点がある。例えば肝臓などの治療では極端な例では治療の翌日から仕事に戻る人もいるように、高齢者や余病を併発している患者、また早急に社会復帰の必要な患者などにとって掛け替えのない治療として今後の高齢化社会において社会的な要請はいっそう高まると思われる。また経済面においても治療数を増やし加速器や人件費のコストを押さえることで手術とそう変わらない負担での治療が出来る可能性もあり、現実にドイツでは独立採算の粒子線治療施設を計画中である。また陽子線治療の研究・開発の過程で呼吸同期など通常のX線治療にも応用の利く技術が生み出されており、こういった意味でも治療と研究を継続発展させて行く意義があり、また陽子線治療の嚆矢として他の粒子線治療施設にその成果を提供してゆく義務があると考えている。

ダウンロードされた論文は私的利用のみが許諾されています。公衆への再配布については下記をご覧ください。

複写をご希望の方へ

断層映像研究会は、本誌掲載著作物の複写に関する権利を一般社団法人学術著作権協会に委託しております。

本誌に掲載された著作物の複写をご希望の方は、(社)学術著作権協会より許諾を受けて下さい。但し、企業等法人による社内利用目的の複写については、当該企業等法人が社団法人日本複写権センター（(社)学術著作権協会が社内利用目的複写に関する権利を再委託している団体）と包括複写許諾契約を締結している場合にあつては、その必要はございません（社外頒布目的の複写については、許諾が必要です）。

権利委託先 一般社団法人学術著作権協会
〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3F FAX：03-3475-5619 E-mail：info@jaacc.jp

複写以外の許諾（著作物の引用、転載、翻訳等）に関しては、(社)学術著作権協会に委託致しておりません。

直接、断層映像研究会へお問い合わせください

Reprographic Reproduction outside Japan

One of the following procedures is required to copy this work.

1. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has concluded a bilateral agreement with an RRO (Reproduction Rights Organisation), please apply for the license to the RRO.

Please visit the following URL for the countries and regions in which JAACC has concluded bilateral agreements.

<http://www.jaacc.org/>

2. If you apply for license for copying in a country or region in which JAACC has no bilateral agreement, please apply for the license to JAACC.

For the license for citation, reprint, and/or translation, etc., please contact the right holder directly.

JAACC (Japan Academic Association for Copyright Clearance) is an official member RRO of the IFRRO (International Federation of Reproduction Rights Organisations).

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)

Address 9-6-41 Akasaka, Minato-ku, Tokyo 107-0052 Japan

E-mail info@jaacc.jp Fax: +81-33475-5619