

お知らせ

ワクチン接種業務の支援を開始 ▶ COVID-19最新情報はこちら！

医師TOP ▶ シリーズ◎放射線治療のパラダイムシフト

国内でにわかには盛り上がる「次世代放射線治療」

シリーズ◎放射線治療のパラダイムシフト

連載をフォロー

トレンド◎重粒子線施設が世界最多に、ホウ素中性子捕捉療法は保険適用

国内でにわかには盛り上がる「次世代放射線治療」

2021/06/08

井上 俊明=ヘルスケアマネジメント記者

放射線科

重粒子線治療 ホウ素中性子捕捉療法

印刷

1

手術や薬物療法の後じんを拝していた感のある癌の放射線治療。だが、今その存在感が急速に増している。粒子線の中でも高い治療効果が見込まれる重粒子線治療を手掛ける施設が相次いでオープンしている上、中性子線を用いたホウ素中性子捕捉療法（BNCT）の保険診療もスタートしたのだ。世界の最先端に行くこれらの治療を導入した施設の狙いや、今後の方向性を探った。

2021年2月、山形大学医学部附属病院の隣に、東日本重粒子センター（山形市）がお目見えした。病院から廊下伝いに行けるこの施設は、日本で7番目の炭素原子核による癌の放射線治療施設。「地方にある医学部に学生を引きつけるためには、思い切った投資による特別なハードが必要」（同大学理事でセンター長の根本建二氏）という考えもあって、2012年から具体的な準備に取り掛かり、10年近くかけてオープンにこぎ着けたものだ。

5月中旬までに、20人を超える**前立腺癌**患者が各12回の照射を受け、治療を終えた。これらは全て保険適用された治療だ。「1年目の治療人数は120人と見ていたが、既に250人の予約が入っている」と、根本氏は順調な滑り出しに手応えを感じている。



2021年2月に診療を開始した山形大学の東日本重粒子センター（提供：東日本重粒子センター、以下2枚も）

日本発の超電導回転ガントリーを装備

山形大学が、コストの高くつく**重粒子線治療**装置の導入に踏み切った背景には、癌治療の有力な選択肢を持つことで地方大学医学部としての生き残りを図るという目的もあったが、それ以上に「次世代の放射線治療機器を導入するなら、一番良いものにしたいという考えがあった」と、センター長の根本氏は説明する。

リニアックなどによる通常の放射線治療（X線）に比べて、陽子線や重粒子線などの粒



「当初の目標よりも治療希望者が多く集まっている」と話すセンター長の根本建二氏。

抑えながらより強い線量を照射できる（**ペーシト部の別掲記事**）。さらに、粒子線の中でも重粒子線は、X線や陽子線に比べて酸素増感比（OER）が低いため、放射線が効きにくい低酸素状態にある癌にも効果的だという特徴を持つ。また、生物学的効果比（RBE）もX線や陽子線と比べて2～3倍高い。

そのため、重粒子線治療は照射回数が少なく済み、前立腺癌の場合、標準的な照射回数は12回。30回以上必要な陽子線の3分の1ほどで済み、医療側、患者側双方の時間と手間が省ける。他の部位でも、X線や陽子線の照射回数に比べて、大幅に少ない（**表1**）。

【公的保険適用】

	X線	陽子線	重粒子線
泌尿器（前立腺癌）	35～39回	35～39回	12回
頭頸部（非扁平上皮癌および涙腺癌）	30～35回	30～35回	12～16回
骨軟部（切除不適応骨軟部癌）	20～35回	20～35回	8～16回

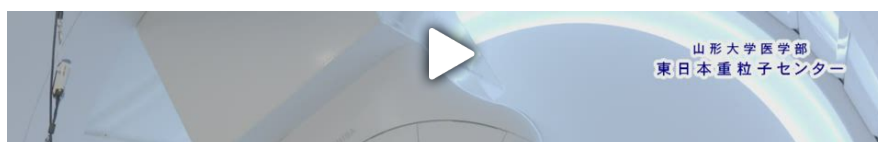
【自費または先進医療（民間保険）適用】

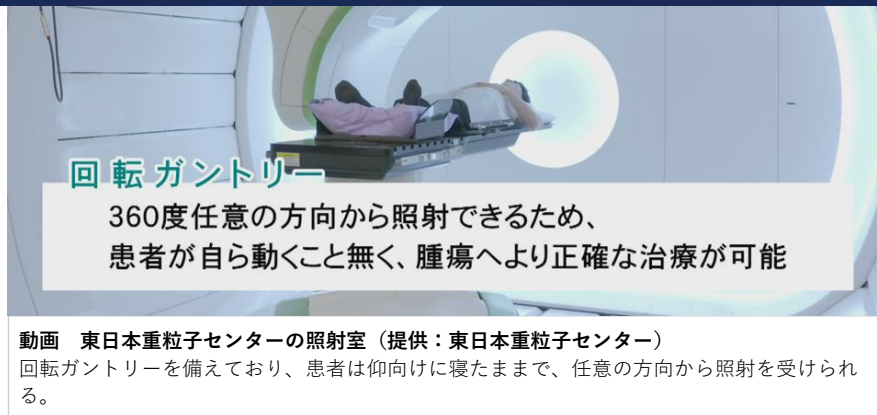
	X線	陽子線	重粒子線
肺（末梢型I期肺癌）	4～30回	10～20回	1～4回
消化管（大腸癌骨盤内再発）	非適応	非適応	8～16回
肝胆膵（局所進行癌）	25～30回	20～33回	12回

表1 放射線の種類による標準的な照射回数の違い（東日本重粒子センターのウェブサイトから抜粋）

ただ、一連の治療で請求できる診療報酬は、陽子線と同じ額に設定されている。例えば、前立腺癌（限局性・局所進行性で転移のないもの）への根治的な治療で11万点。一定の要件を満たす頭頸部悪性腫瘍や骨軟部腫瘍など希少な疾病に照射した場合には18万7500点が算定できるが、これらも陽子線治療と同じだ。また、両者とも治療の適応判定と専従の医師が策定した照射計画に基づく医学管理について、それぞれ4万点、1万点の加算が設けられている。

診療報酬上の評価は同じにもかかわらず、山形大学は重粒子線装置、中でも最新鋭機種への導入にこだわった。縦・横2方向から照射できる固定照射に加えて回転ガントリーによる治療ができる機種を選んだのだ。全国2番目、世界でも3番目となる機種で、照射口が体の真下から真上まで動くため、患者は寝たまま姿勢を変えることなく、重要な臓器・器官を避けて照射を受けられる（**動画**）。これには日本で開発された超電導式の軽量・小型化回転ガントリーが活用されている。シンクロトロン的小型化なども貢献し、治療施設全体をコンパクトにできたという。これが病院に隣接したセンターの開設につながり、心臓病など入院が必要な他の病気を併せ持つ癌患者も治療しやすくなった。





病院間ネットワークを通じて広報

東日本重粒子センターの装置には、もう1つの日本で開発された技術「スキニング照射」が搭載されている。シンクロトロンから得られた細いビームを拡大せずにそのまま照射して、腫瘍部分を塗りつぶすように高速で動かす技術で、癌の形状に合わせて放射線を当てやすくなる。病巣以外を放射線から保護するための照射器具も不要になり、治療時間やスタッフの手間も節約できるという。

同センターの開設費用は約150億円。多くは国からの補助金や県内の自治体・県民からの寄付などで賄えたが、それでも建物の建設費など数十億円の借入れが必要になった。ランニングコストは年間約10億円で、今後数年でまずは収支均衡に持っていきたいと考えている。

利用者を増やすための広報活動にも力を入れる。九州国際重粒子線がん治療センター（佐賀県鳥栖市）など、先行施設の取り組みを参考に、主に東北地方の住民や医師にセンターをアピールし、重粒子線が治療の選択肢の一つとして提示され、選ばれることを目指す。それに一役買いそうなのが、東北6県を中心に、40近い基幹病院を結んでいる東北がんネットワーク。従来から東北では病院間で一定の癌診療連携体制が構築されており、患者は近くの病院で治療前後のフォローを受けることができる。

センター長の根本氏は、「前立腺に関しては現在、国内の共通プロトコルで12回照射としているが、今後、症例の蓄積が進めば治療回数をもっと減らせる可能性がある。また、希望者が多いのは膵臓癌の治療で、これは治療抵抗性の癌に強い重粒子線の特徴が生きて考えている。局所再発した直腸癌や、1回で治療可能な末梢肺癌などの治療も、今後は手掛けていきたい」と意気込む。

根本氏によれば、東日本重粒子センターのオープンによって、世界で稼働している重粒子線治療施設は13施設になったという。うち過半数の7施設は日本にある。陽子線を含めた粒子線治療の施設数も、米国の次に多い。粒子線治療では、日本は世界の先頭集団に入っていると自覚しているという。



シンクロトロンで、炭素の原子核を光速の約70%まで加速させ、高いエネルギーを持ったビームを作り出す。

小型シンクロトロンの開発を契機に重粒子線施設が増加

放射線は、大きく光子線と粒子線に分けられる。光子線ではX線やガンマ線などが癌治療に使われているが、外部照射を行うと正常な組織を通過して体内の腫瘍部分に到達するため、通り道の正常部分も照射されてしまう。

力、粒子線が壊れているのは線量単位の。水素の原子核である陽子線や、質量の大きな炭素の原子核を利用する重粒子線があり、いずれも体の一定の深さでエネルギーが急激にピーク（**ブラッグピーク**）に達してすぐ低下するため、正常な臓器への影響を極力抑えて癌病巣をたたく。ただし、原子核を加速してビームを作るために、シンクロトロンを中心とした大型の治療装置が必要になる。

日本では2000年代に入ってから、主のがんの専門病院で陽子線や重粒子線装置の設置が始まり、大学病院の中にも設置するところが出始めた。2010年代には民間病院で陽子線治療施設の開設が相次ぎ、現在、重粒子線と併せて国内で25施設以上が稼働している。開設・運営コストが陽子線の3倍前後とされる重粒子線も、国内で小型のシンクロトロンの開発が進んだこともあり、2010年の群馬大学での導入など、ぽつぽつと増えてきた。

最近では2018年10月に、大阪市中央区に大阪重粒子線センターが、日本で6番目の施設としてオープン。大阪府立病院機構の事業として整備が進められ、大阪国際がん治療財団が運営する公的な施設だ。全周60mを切る世界最小クラスのシンクロトロンの導入により、交通の便が良い大都市中心部に登場した治療施設として注目を集めている。

2021年4月に横浜市で開催された第80回日本医学放射線学会では、大阪重粒子線センターの鈴木修氏が、初期の状況を報告。水平・垂直方向2つ、水平・斜め方向1つの合計3室の固定照射室を活用し、2020年12月末までに1046人の患者を治療したという。

うち77%は、2018年4月に保険適用された前立腺癌の患者。次いでやはり保険適用済みの頭頸部癌、さらに照射料以外は保険給付を受けられる「**先進医療制度**」の対象である肝臓癌、肺癌の順に多い。同センターでは、2019年から先進医療による治療を本格的にスタートさせたことで、治療する疾患の幅が広がった。現在は、肺や肝臓のように呼吸で動く臓器の癌に、高精度で重粒子線を当てられる呼吸同期照射の準備を進めている。

ただ、重粒子線施設のさらなる普及には診療報酬上の適応疾患拡大が欠かせない。それを目指し、草分けである量子科学技術研究開発機構QST病院（旧放射線医学総合研究所病院、千葉市稲毛区）をはじめ、重粒子線治療を手掛けている全施設が参加した多施設共同臨床研究「**J-CROS**」が現在進行中で、エビデンスの蓄積を行っているところだ。肝臓、肺、直腸など5部位の癌を対象に、先進医療の枠組みも活用して今後の保険適用に向けた有効性・安全性の評価を進めている。

Next [巨大民間病院チェーンの旗艦が陽子線とBNCTを導入](#) >

1

2

>

1

この連載のバックナンバー

英国から逆輸入！？常識覆す放射線増感剤

2021/06/22

時流に合ったメリット強調し、診療報酬見直しへ

2021/06/15

お知らせ

ワクチン接種業務の支援を開始 ▶ COVID-19最新情報はこちら！

医師TOP ▶ シリーズ◎放射線治療のパラダイムシフト

国内でにわかに盛り上がる「次世代放射線治療」

シリーズ◎放射線治療のパラダイムシフト

連載をフォロー

トレンド◎重粒子線施設が世界最多に、ホウ素中性子捕捉療法は保険適用

国内でにわかに盛り上がる「次世代放射線治療」

2021/06/08

井上 俊明 =ヘルスケアマネジメント 記者

放射線科

重粒子線治療

ホウ素中性子捕捉療法

印刷

シェア 0

0

ツイート

民間病院が陽子線とBNCTを導入

民間病院の中でも、最先端の治療装置を導入し、癌放射線治療の充実を図ろうとする施設が出てきた。徳洲会グループの旗艦、医療法人沖繩徳洲会・湘南鎌倉総合病院（神奈川県鎌倉市）は2021年4月、癌診療や再生医療を担う先端医療センターをオープン。徳洲会の理念に沿って「断らないがん診療」をモットーに、体への侵襲が少ない放射線治療を充実させた。同センターは、（1）米国のがんセンターにならい、診療のほか研究・教育も手掛ける、（2）総合病院の強みを生かし、合併症を含めたがん診療体制を持つ、（3）緩和医療や支持療法、精神的サポートも含めて行う「包括的がんセンター」にする——ことを目標としている。

センターの目玉は、陽子線治療とホウ素中性子捕捉療法（BNCT）という次世代の放射線治療を行う2つの装置。中でもBNCTは、2020年6月に頭頸部癌を対象に保険適用されたばかりの最先端の治療法だ。通常細胞の数倍ホウ素を取り組みやすい癌細胞の性質を利用し、中性子と相互作用を起こすホウ素同位体（ ^{10}B ）を濃縮した薬剤を患者に点滴した上で中性子線を照射。腫瘍内の ^{10}B は中性子を捕捉し、アルファ線とリチウム粒子に分裂し、それぞれ約 $9\mu\text{m}$ 、約 $4\mu\text{m}$ の長さだけ飛び出しながらDNAを破壊する。細胞1つの大きさが約 $10\sim 20\mu\text{m}$ なので、腫瘍以外に与える影響は極めて小さく、原則として1回で治療が終わる。

「将来はアルファ線核種を含めたアイソトープ治療にも積極的に取り組んでいきたい。センター隣の棟には、強度変調放射線治療の専用機、トモセラピー2台と小線源治療室があり、症例ごとに放射線治療の専門医が機器の選択や照射法の決定を行って使い分けを図っていく」と、先端医療センター長の井上登美夫氏は話す。陽子線装置は薬事承認を経て、2022年2月ごろに診療を始める計画だ。初年度年間200例を目標に、2年目以降はさらに治療実績を伸ばしていきたいという。小児がんを含めた既に保険適用されている疾患に加え、先進医療制度や自由診療による治療、さらには海外からのインバウンド需要にも応える方針だ。

最新機器はスタッフ採用にも貢献

BNCTも米国製の最新機器を搬入済み。薬事承認・保険適用されている機種ではないため、これから診療に使うための手続きを進める。今のところ適応疾患が「切除不能な局所進行または局所再発の頭頸部癌」に限定されている上、今後の適応拡大の方向性が読みに

り組む方針だ。

井上氏は「公的な資金援助のない民間の施設のため、センター全体でも（採算を合わせるための）マネジメントは容易でなさそうだと話す。「陽子線治療の診療報酬は正直、現場としては厳しいもので、PET検査などとともに病院全体のがん診療件数の底上げにつながることを期待している。放射線治療を行う患者数を増やすためにも、院内外の関連する診療科からの協力を得られるように、医師や多職種が連携して積極的なプロモーション活動を展開していきたい」（井上氏）。



癌の放射線治療を目玉に、この4月にオープンした湘南鎌倉総合病院の先端医療センター。2022年2月をめどに陽子線治療を開始し、BNCTにも取り組んでいく。（提供：湘南鎌倉総合病院）

一方で、こうした思い切った投資が、人材不足が顕著になっている放射線治療の専門医や医学物理士の確保に貢献するという見方もある。同センターは、陽子線治療を始める時点で、常勤の治療専門医を4人、医学物理士を5人、また、非常勤の専門医や物理士も数人ずつ配置する計画だが、人員確保のめどはほぼ立っているという。井上氏は、「当院は、米国のMDアンダーソンがんセンター陽子線治療部門などへの、医師や医学物理士の留学を支援してきた。加えて、最新の治療装置があり、多岐にわたる放射線治療の経験を積めることなどが、意欲的な人材の採用にプラスになっているようだ」と話す。

注目されるBNCTの適応拡大や点数見直し

BNCTはもともと20年ほど前から研究用の原子炉を使い、そこで得られる中性子を用いて脳腫瘍などの治療が試みられていたという経緯がある（[関連記事](#)）。しかし、福島第一原子力発電所の事故などがきっかけとなり、危険視されやすくなった原子炉の代わりに加速器を用いたBNCTの開発が始まった。加速器であれば省スペース化も実現できるため、病院でも導入できる。

かくして、2020年5月にホウ素薬剤**ボロファラン**（商品名ステボロニン）が薬価収載され、6月に加速器を用いたBNCTが保険適用されたというわけだ。診療報酬は、重粒子線治療の「希少な疾病の場合」が準用されており、加算を含めると1回24万点弱（薬剤料は除く）。2022年度診療報酬改定で改めてBNCT用の点数が設定されるとみられる。保険適用申請時の資料によると、国内で行われた第II相臨床試験では、90日後に腫瘍が30%以上縮小した奏効率は71.4%に達している（切除不能な局所再発頭頸部扁平上皮癌、同局所進行・局所再発の頭頸部非扁平上皮癌21例が対象）。前述するように適応疾患は頭頸部癌だが、中性子の性質上、体表から6cmぐらいいままでの表在性の癌であれば治療の対象になる。

現在、福島県郡山市にある脳疾患研究所（南東北グループ）と大阪医科薬科大学（大阪府高槻市）が保険診療を行っているほか、国立がん研究センターも悪性黒色腫の臨床試験を実施中。臨床応用に近づいている大学病院もあり、加速器BNCTの治療施設はこれからも開設が続きそう。必要なサイクロトロンは数メートル四方とあまりスペースをとらず、また陽子線並みのコストでの開設も可能。民間病院の導入事例も今後さらに出てくるかもしれない。