

ラジオロジー

放射線医療と患者さんを結ぶ広報誌

24
2015年

特集◎ 粒子線治療の話

九州国際重粒子線がん治療センター

遠藤 真広 (えんどう まさひろ)

■世界の街角から

人々を魅了する街 ニューヨーク

Cardiovascular Research Foundation/
Columbia University Medical Center

松村 光章 (まつむら みつあき)

■My Hobby

犬[🐕]だふるライフ

筑波大学医学医療系(医学物理学グループ)

磯辺 智範 (いそべ ともりの)

患者さんに

やさしい放射線医学を求めて…

ラジオロジー(Radiology)とは放射線科学のことです。
ラジオロジーは体の中を切らずに、見ます。エックス線写真からはじまり、ここまで来ました。

日本ラジオロジー協会

「みえる・わかる・なおる」をテーマとして放射線科学は医療に幅広く貢献しております。

[特集]

粒子線治療の話

九州国際重粒子線がん治療センター
遠藤 真広 (えんどう まさひろ)

1. はじめに

がん治療に関心のある方であれば、粒子線治療という言葉を知っているかもしれません。粒子線治療は、最近、しばしばマスコミに取り上げられます。取り上げられ方としては、粒子線治療に必要な装置が、1台数十億円、高いものでは数百億円することがあり、それにもかかわらず日本にはすでに10台以上の装置があることなど、その価格の高さに重点を置くものが多いようです。また、我が国は粒子線治療の先進国であるので、世界各国に輸出して大いに外貨を稼ぐべしという議論もあります。

しかし、粒子線治療とはどのようなものであり、どのようながんに効くかということは余り知られていないようです。ここでは、これらのことを説明したいと考えます。

2. 放射線治療とその限界

粒子線治療は放射線治療の一種ですので、放射線治療一般の説明から始めます。放射線治療は、局所に局限しているがんを治療するものであり、手術と似ていますが、臓器・器官の形態や機能を保存する面で、一般的に手術

より優れています。例えば、顔や首にできるがん(頭頸部がんと総称されます)を手術で治療すると顔の形が変形したり、機能が損なわれたりすることがしばしばありますが、放射線治療ではこれらの副作用を比較的に少なくすることができます。

放射線治療の原則は、病巣にだけ放射線を集中照射し、その周りの正常な臓器・器官への照射は可能な限り避けることです。20年ほど前までは、体の奥にあるがん病巣の位置や拡がりの詳細に知ることは困難であり、また放射線の集中照射も技術的な困難が伴いました。このため、放射線治療で治せるがんは限られたものであり、主に末期がんの痛みを取るなど症状の緩和に使われていました。

最近20年間の放射線を用いる医療技術の進歩は、このような放射線治療の位置付けを劇的に変化させました。X線CTやMRIなどの画像診断技術の進歩により、多くのがんの位置や拡がりミリメートル単位で同定できます。また、同様な精度で病巣に放射線を集中照射する技術も開発されました。現在では放射線治療は、多くの部位のがんに対して行われ、同じ局所療法である手術に匹敵する治療法になっています。

しかし、従来、放射線治療に使用されてきたX線、ガンマ線の効かないがんもあります。骨肉腫、悪性黒色腫などが、そのようながんの典型です。これらのがんは、X線、ガンマ線では治癒させるのが困難です。

図1. 各種放射線の体内における線量分布^{※1}

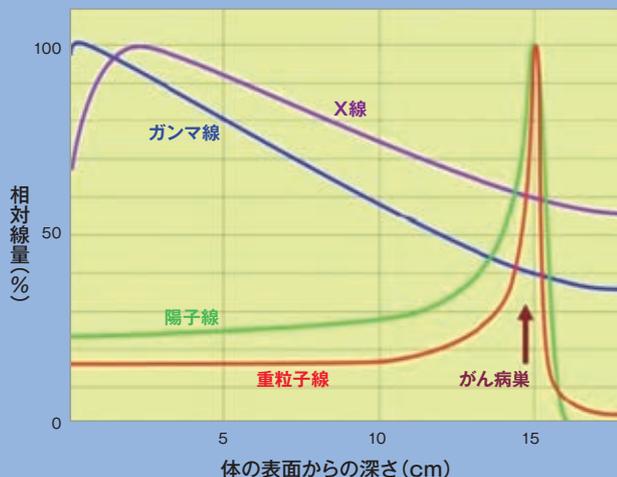
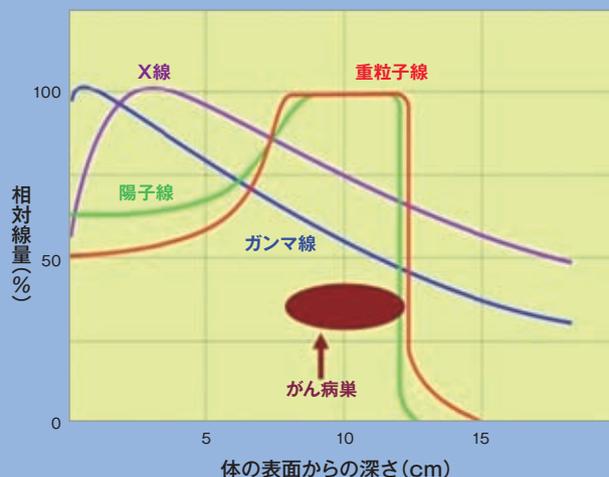


図2. 各種放射線の体内における線量分布^{※1}
(ピークを病巣の拡がりに合わせてなまらせた場合)



※1 医用原子力技術研究振興財団ホームページより許可を得て転載しています。

図3. 重粒子線治療装置の主加速器。直径約20mの円形をしている。^{※2}



※2 撮影場所：九州国際重粒子線がん治療センター

骨肉腫や悪性黒色腫ほどではないですが、前立腺がんや肺がんが多い腺癌というタイプはX線、ガンマ線が比較的、効きにくいとされています。また、がんの中には、生命や生活の質（Quality of Life）に大きく関わる臓器（重要臓器と言われるもの、例えば視神経は障害を受けると失明することがある）のすぐそばに拡がるものがあります。これらのがんに対しては、副作用が心配で、十分に放射線を照射できないことが、しばしば起こります。

それらのがんに対する切り札が粒子線治療なのです。

3. 粒子線治療はどのようなものか

放射線は、X線、ガンマ線と粒子線に分けることができます。粒子線は水素や炭素の原子核を高速に加速したものです。ここで水素の原子核（陽子）を加速したものを陽子線、炭素の原子核を加速したものを炭素線、もしくは重粒子線といい、両者を合わせて粒子線といいます。

図1は、これらの放射線の線量（組織に与えるエネルギー）分布を示したものです。図に示すように、X線やガンマ線の線量は、体の浅いところでピークとなり、その後は少しずつ線量が減少します。一方、粒子線は体に入射すると、少しずつ減速し止まる直前の最も深いところで線量がピークとなります。図では深さ15cmのところにピークがありますが、粒子線が入射するときの速度を調節することにより自由に変えることができます。言い換えると、深いところのがん病巣に大きな線量を与え、途中の正常組織の

線量を少なくすることが原理的に容易にできるのです。

図1のピークは鋭すぎて使いにくいので、実際は図2に示すように、病巣の拡がりに合わせてなまらせますが、それでも途中の正常組織と比較して2倍程度の線量のがん病巣に照射できることがわかります。粒子線はこれ以外に組織中を曲がらずにまっすぐ進むという特徴があります。この2つの特徴をうまく使うことにより、がん病巣へ放射線を集中照射するという放射線治療の原則が高い精度で容易に実現できるのです。

がん病巣への放射線を集中照射できるのは、陽子線と重粒子線の両方もが可能ですが、重粒子線にはもう一つ優れた特徴があります。重粒子線は、X線やガンマ線の効かない骨肉腫や悪性黒色腫にも良く効きます。その理由は、少し難しいので省略しますが、例えて言えば重粒子線は大砲であり、強固な陣地を破壊する能力を持っているのに対し、X線、ガンマ線、陽子線は小銃であり、強固な陣地に立てこもった骨肉腫や悪性黒色腫は破壊できないと考えて、それほど間違いではありません。

そのように優れた特徴を持つ粒子線ですが、その最大の問題は、体の深いところのがんを治療するためには、光の速さの50-70%まで粒子線を加速しなければならず、それには巨大な粒子加速器が必要になることです。最初に重粒子線治療用に製作された放射線医学総合研究所のHIMACの主加速器は直径が40mもあり、建物全体では120m×60mを越す広さが必要でした。HIMACは文句な

しに世界最大の医療装置です。その後の研究で、治療装置は小さくなりましたが、比較の問題であり、普通感覚では大変に大きいと言えます。図3は私たちの施設の重粒子線治療装置の主加速器の写真を示したのですが、直径が20mほどあります。

装置が巨大であることは、それだけ高価であることを意味し、HIMACの建設費は、装置と建屋を合わせて330億円かかりました。私たちの施設は、装置と建屋を合わせて110億円かかっています。以上は重粒子線治療装置についてです。陽子線治療装置は、陽子が重粒子に比べて軽いので、重粒子線治療装置の1/2以下の大きさであり、価格もそれに比例し、安価となります。

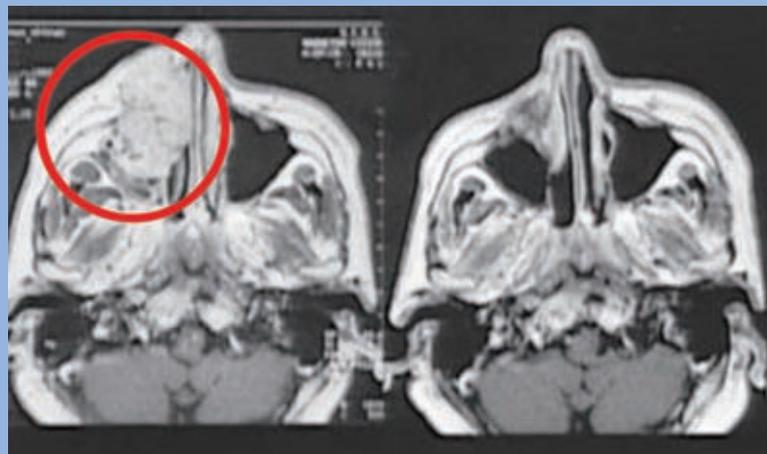
装置の価格が高いため、粒子線治療の治療費は高価となります。放射線治療は通常、数回から数十回の照射を1日1回行いますが、これら一連の治療に対して300万円程度の費用がかかります。ここで重粒子線治療と陽子線治療とでは費用に余り差がありません。この理由は、重粒子線治療の照射回数が陽子線治療より少なく、同じ部位のがんで比較すると半分以下だからです。このため、1回の照射あたりの費用が高くても全体としては同じくらいになります。

このように高価な粒子線治療であり、まだ健康保険の対象でないため治療費は自己負担となりますが、最近はその効果が知られてきて、治療を希望する方が非常に増加してきました。表1は現在、治療を行っている粒子線治療

図4. 重粒子線治療の例(仙骨骨肉腫)、左側が治療前、右側が治療後。^{※3}
左側の赤丸で示した腫瘍が治療により消失し、破壊された骨が再生している。



図5. 重粒子線治療の例(頭頸部がん)、左側が治療前、右側が治療後。^{※3}
左側の赤丸で示した鼻腔、副鼻腔に拡がる大きな腫瘍が、治療により消失している。



※3 放射線医学総合研究所フェロー 辻井 博彦先生ご提供

施設を示したものです。陽子線治療施設が8か所、重粒子線治療施設が3か所、両方の治療を行う施設が1か所、合計12か所あります。また、建設中や建設予定が数カ所あります。粒子線治療装置の数は、米国について世界2位であり、人口比では文句なく世界1位です。それもそのはずであり、粒子線治療は、実は日本で生まれ成長した医療技術なのです。今後、世界への展開が期待されています。

4. 粒子線治療の対象

それでは、粒子線治療は、どのようながんに効くのでしょうか？すでに述べたように骨肉腫や悪性黒色腫に良く効きます。図4は腰の骨(仙骨)にできた骨肉腫の重粒子線による治療例です。図の左側が治療前、赤丸で囲ったところが病巣です。図の右側が治療後であり、腫瘍が消失し、腫瘍により破壊された骨が再生しています。

また、図5は眼、視神経、脳など重要臓器のすぐそばに拡がった頭頸部の腫瘍の重粒子線による治療例です。手術やX線治療では、これらの臓器の機能に大きな影響を与えることが予想され、また手術の場合、形態的にも大きな影響が予想されます。しかし、この例では、図の右に示すように腫瘍が消失し、機能や形態には大きな影響はありません。

これらは粒子線(特に重粒子線)が、第一適応とされるものです。また、肺がん、肝がん、前立腺がんなどは、手術が困難な場合や患者さんが手術を拒否された場合など、粒子線治療が選択肢の一つとなります。これら以外、食道

がん、小児がんに対しては、陽子線治療が選択肢の一つとなります。さらに膵臓がんや悪性脳腫瘍という難治性のがんに対する治療も行われています。

体の中で不規則に位置が変わるため照準をつけることがむずかしい胃や腸のがんは、放射線治療(したがって粒子線治療)の対象となりません。これらの部位のがんは、検診で早期発見することができ、手術で良く治ります。また、早期の乳がんや甲状腺がんも治療法が確立していて、良く治るため、あえて高価な粒子線治療を用いることはないとされています。ただ、最近では、乳がん粒子線治療を適用することが試みられています。

5. おわりに

粒子線治療は、日本で生まれ成長した医療技術です。装置が巨大なため治療費用が高価であるにもかかわらず、その効果を期待して治療を受けることを望む患者が増加し、全国で12カ所での治療が行われています。この数は、今後、数年で倍増することが予想されています。粒子線治療は、いくつかのがんに対して、第一の適応となります。また、多くのがんに対して、治療成績は他と同程度であり、短期間で楽に治療できるため、選択肢の一つとなっています。今後、ますます治療患者の増大が予測され、また技術革新による装置の小型化と普及が期待されています。

最後になりますが、治療について相談したい方は、表1のうち最寄りの施設のホームページをご覧ください。

表1. 現在稼働中の粒子線治療施設

重粒子線	陽子線	都道府県	施設名称
	●	北海道	北海道大学病院陽子線治療センター
	●	福島県	南東北がん陽子線治療センター
●		群馬県	群馬大学医学部附属病院 重粒子線医学センター
	●	茨城県	筑波大学附属病院 陽子線医学利用研究センター
	●	千葉県	国立がん研究センター東病院
●		千葉県	放射線医学総合研究所 重粒子医科学センター
	●	静岡県	静岡県立静岡がんセンター
	●	愛知県	名古屋陽子線治療センター
	●	福井県	福井県立病院 陽子線がん治療センター
●	●	兵庫県	兵庫県立粒子線医療センター
●		佐賀県	九州国際重粒子線がん治療センター
	●	鹿児島県	メディポリスがん粒子線治療研究センター

世界の街角から

人々を魅了する街 ニューヨーク

Cardiovascular Research Foundation/
Columbia University Medical Center

松村 光章 (まつむら みつあき)

ニューヨークはアメリカ合衆国北東部の大西洋に面し、商業・ビジネスの一大中心地であると同時に、世界中から観光客が訪れる活気あふれる都市である。特にマンハッタンでは、朝早くからビジネスマンがドリンク片手に颯爽と通勤している姿は、これぞニューヨークという印象を受ける。また様々な国からの移民が多く、街中では英語だけでなく、スペイン語、ポルトガル語など聞きなれない言語もあり、これもまた特徴の一つである。



写真3 セントラルパーク

ステーキやベーグルをはじめ、ベンダーと呼ばれる屋台など、世界各国の料理を堪能することができる。日常生活では、日本食材が購入できるスーパーだけでなく、韓国系や中国系のスーパーもあり、それほど不自由さを感じることはない。またマンハッタンの地下鉄は、網目状に走行している上、治安も以前に比べて改善されてきており、観光する際には非常に便利である。

ニューヨークは物価が高く、日本からは長時間のフライトになってしまうなど少し躊躇してしまう部分があるかもしれない。しかしニューヨークは、街の雰囲気や観光スポットなど、人々を魅了するものがたくさんあり、一度は訪れてみたい都市である。



写真2 自由の女神像



写真1 タイムズスクエア

観光スポットとしては、有名ブランドが軒をそろえる五番街や年末恒例のカウントダウンで有名なタイムズスクエア(写真1)、自由の女神像(写真2)やセントラルパーク(写真3)など、数えきれないほど存在する。春には、桜祭りやジャパNDERといったイベントなどもあり、ここニューヨークにいながらにして日本を感じることができる。もちろん食のほうも充実しており、アメリカを代表するス



写真4 マンハッタンの夕暮れ

My Hobby

犬^{ワン}だふるライフ

筑波大学医学医療系(医学物理学グループ)

磯辺 智範 (いそべ ともりの)

私は、臨床現場(専ら放射線治療)において、品質管理業務や治療計画のサポート、マニュアルや報告書等の資料作成、装置や機器の開発など、医学物理士としての業務に携わっています。また、教育現場では、大学教員の立場で、医学生への放射線に関する講義や治療計画の実習、臨床検査技師を目指す学生への画像診断に関する教育、医学物理士を目指して研究に励む大学院生への指導を行っています。このように、臨床現場と教育現場を掛け持ちながら、幅広く多くの仕事に携われていることに喜びを感じ、充実した日々を過ごしています。当たり前のことではありますが、どの業務に対しても気を抜くわけにはいかず、常に高い集中力を維持し続ける必要があります。肉体的には平気でも(若いので!笑)、精神的には疲労困憊しているのが現実です。そんな私の心の拠り所が「犬^{ワン}」です。現在、4頭のチワワが自宅で私の帰りを待っていてくれており、疲れた心を癒やしてくれています(写真1)。



写真1: 4頭のチワワ自宅にて

私はつくば市に単身赴任しており、週末だけ千葉にある自宅に帰るという生活を送っています。そのため、ワンちゃん達と一緒に居られるのは週末のみです。一緒に過ごせる時間が短い分、触れ合っている時間はとても濃密です。気がつけば、初めのワンちゃんを飼ってから既に10年以上が経過しました(写真2)。思い返してみると、ワンちゃんの出産に立ち会い、子供を取り上げたこともあります(写真3)。最近では、ワンちゃん達の仕草から、私に何を求めているのかを理解できるようになってきました。ワンちゃん達も、私の言葉や態度から、こちらの意図をワンちゃん達なりに理解しているようにさえ感じます。今ではこのよう

写真2: 最初に飼ったワンちゃん



写真3: 子供の取り上げに成功

にワンちゃん達との生活が当たり前の私ですが、ワンちゃんを飼う前は、正直「犬なんて…」と小馬鹿にしているところがありました。しかし、飼い始めてみると、環境への順応力の高さ、感情の豊かさ、知能の高さに驚くことが多々あります。また、多頭飼いでいると、社交的な子、わがままな子、芸達者な子、英語にやたらと反応する子など、ヒトと同様に個性の豊かさを感じます。このように個性豊かなワンちゃん達ですが、不思議なことに、ワンちゃん同士がお互いを思いやりながら「共同・協同・協働」していることがあります。そのチームワークは、私の仕事に重ねてみると、臨床現場の「チーム医療」さながらです。まさに“Wonderful(ワンだふる)”。

ワンちゃん達と共に生活を送っているうちに、自分の内面に大きな変化を感じるようになりました。今までの私は、何事にも常に100%の結果を出すことにこだわっていました。また、私自身はもとより、誰に対しても同じ結果を求めてしまっていました。しかし、日常で遭遇する種々の課題に対する答えは、必ずしも1つとは限りません。ワンちゃん達との生活を通して、それぞれの置かれた環境に合った答えがあるということを再認識し、良い意味での「諦めること・妥協すること・焦らないこと」の重要性を理解できるようになったと感じています。ワンちゃん達から私自身が多くのことを教わり、少し成長できたのかもしれませんが。現在の私の生活は、ワンちゃん達を飼いはじめる前に比べて何倍も充実しています。これからも、ワンちゃん達との「ワンだふるライフ」を大切にしながら、日々の業務に務めていこうと考えています。

編 集 後 記



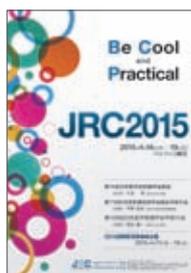
バナナのMRI画像

広報誌「ラジオロジー」が初めて発行されてから、13年目を迎えました。順調に発行部数をのばし今は1万部を印刷しています。日本ラジオロジー協会のインターネットホームページからもこの広報誌は既刊も含めて取得できますので、この広報誌をお手元に置きたい方はこちらをご利用ください。

発行当所の特集は造影剤でありましたが、以後、病気の診断と治療についての情報提供が、臓器別、あるいは、病気別に行われてきました。今回は放射線による治療技術である、粒子線治療が紹介されています。設備の建設、維持、運営には多くの技術者や専門家が関与しています。このような大がかりな設備は建設、設置のみならずこれを維持、管理、改良してゆく運営をいかに正確に行うかが問われるようになってきました。運営のシステムが求められるようになっていきます。これは医療技術に限りません。今日の高度技術社会では普遍的な事象とおもわれます。設備・機器へのひとの関与の仕方が一層重要となっており、人のエラーや不測の事態への備えが重要です。粒子線治療もこれに留意して運営されています。診療に直接関与する医療者、医療機関の事務職員以外にも、皆様の見えないところで様々な専門家が働いていることをぜひご理解お願いします。今号の特集を執筆された遠藤先生は医学物理学者です。いまだ日本では不足している専門家です。医学・医療の進歩にあわせ多種類の専門家が関与して下さることを願っています。

最後に、この広報誌の名物をご紹介します。それは医療用のCT装置など撮影された食品や日用品の写真です。編集後記の欄の右上に毎号計刺されています。ぜひお楽しみください。

ご意見、お問い合わせなどがございましたらJRC事務局 (office@j-rc.org) までメールでお寄せください。 JRC広報委員



JRC
Japan Radiology Congress

監 修 公益社団法人 日本医学放射線学会
<http://www.radiology.or.jp/public.html>

発 行 一般社団法人 日本ラジオロジー協会
〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-8
神田駿河台ビル7F
TEL 03-3518-6111 / FAX 03-3518-6139
<http://www.j-rc.org/>

発行日 平成27年2月25日 第13巻第1号 通巻24号