

陽子線治療を お考えの方へ

筑波大学附属病院陽子線治療センター



筑波大学
University of Tsukuba



CONTENTS

03
筑波大学から、
陽子線治療のスタンダードが生まれました。

04
陽子線治療とは

06
陽子線治療を受けるには

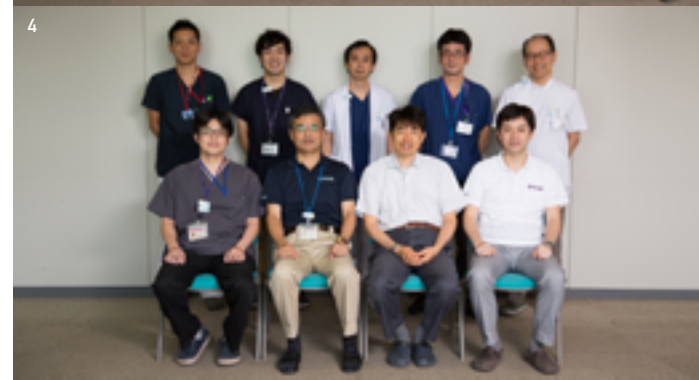
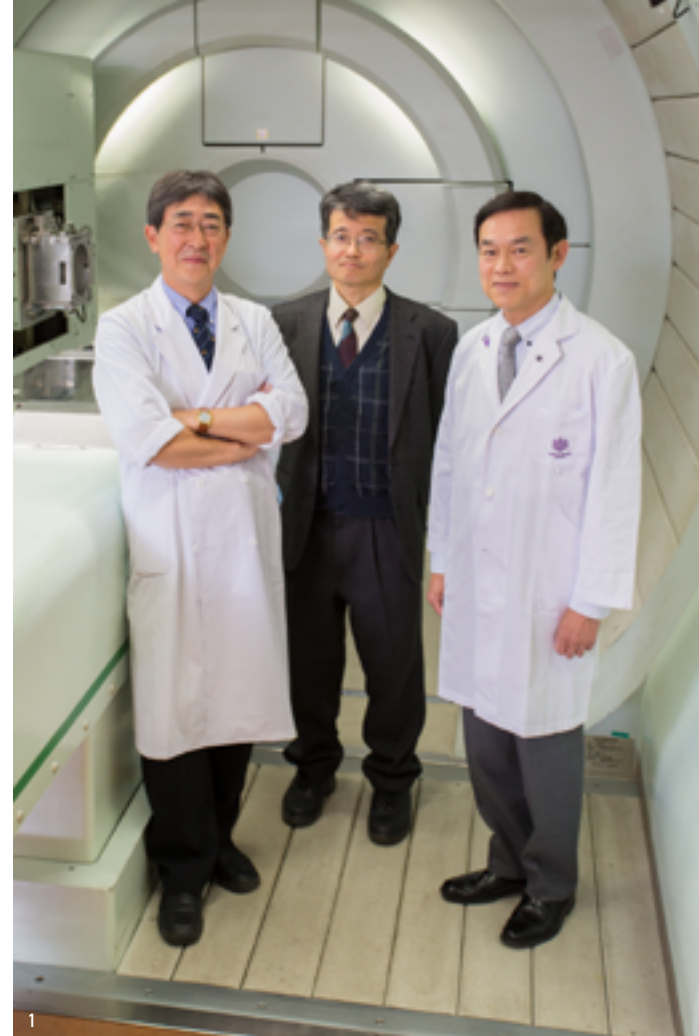
07
陽子線治療の流れ

08
陽子線治療開始

09
医学と物理学の連携が生んだ治療装置

10
治療の対象となる主な病気

1. 左から櫻井英幸陽子線治療センター部長、医学物理学グループ 榮武二教授、坪井康次陽子線医学利用研究センター長。
2. 当センターは、「真のチーム医療」の提供を目指す筑波大学附属病院内に設置されています。
3. 最適な治療方法の提供とQOLの維持に努め、陽子線治療に携わっている医師チーム。
4. 放射線物理学の見地より負担が少なく安全な陽子線治療法を研究している医学物理士チーム。



筑波大学から、 陽子線治療のスタンダードが 生まれました。

筑波大学は、1983年より陽子線治療の本格的臨床研究を始め、国内で最も長い歴史と多くの優れた実績を持っています。特に、肝臓がんなど体の深部に発生したがんに対しては、世界に先駆けて陽子線治療を行っており、その治療法は現在、世界のスタンダードとして高い評価を受けています。

陽子線治療は、病巣のみにピンポイントで陽子線を照射でき、まわりの正常な細胞を傷つけることなく、副作用も軽くすむことが大きな特徴です。体への負担が少ないため、心臓病などほかの病気を併発している高齢の方や体力のない方にとっては大変有効な治療法といえましょう。また、将来のあるお子さんや若年の方にとっては、成長・生育を妨げるリスクが低く、二次がんの予防という観点からも有用な治療方法です。

当センターは、筑波大学附属病院に併設されているため、内科や外科などさまざまな分野の専門医師や医療スタッフと密接な連携を取りつつ、複合的な観点から最適な治療法をチームで提供している点も大きな特徴です。病名は同じくがんであっても治療法は患者さんごとに異なります。病状や年齢、体力、さらには治療に対する考え方など、患者さんの体と心をよく診て、その方にとってベストな方法を提供することが最も重要と考えております。

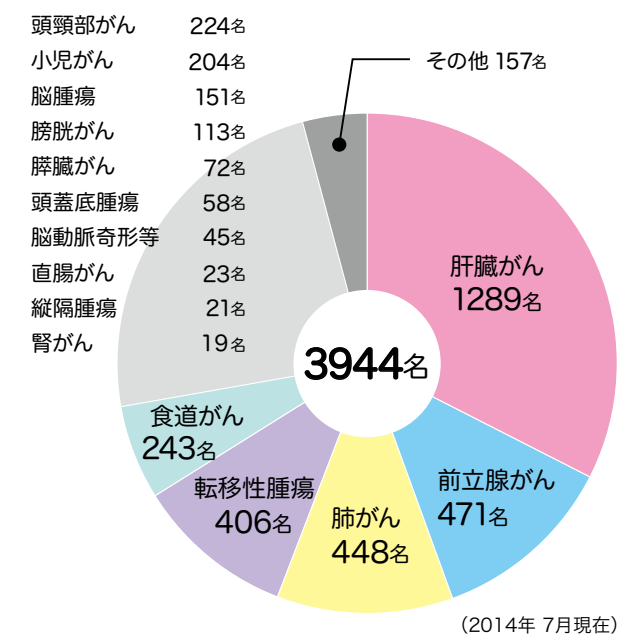
現在、がんの治療は、手術や化学療法、放射線治療などの治療法の良い部分を集めて患者さんの治療にあたる集学的治療が主体となっています。陽子線治療も、集学的治療の一部として機能することで、患者さんの生活の質(QOL: quality of life)の維持に寄与できると思います。

より多くの患者さんにお役に立つ陽子線治療を目指して日々の診療や研究に勤しんでおります。陽子線治療をお考えの方は、ぜひ一度お気軽にご相談ください。

筑波大学附属病院
陽子線治療センター部長
櫻井英幸

HISTORY

- 1973年 KEK(現・高エネルギー加速器研究機構)において大型陽子加速器を利用したがんの粒子線治療が提案される
- 1975年 KEK、放射線医学研究所、筑波大学が粒子線プロジェクトの推進で合意
- 1976年 筑波大学に「高LET粒子線の医学生物学的利用調査」ワーキンググループが結成され、同年12月に「高LET放射線利用による生物化学研究委員会準備会」に改称、全学的にプロジェクトが推進される
- 1977年 大型陽子加速器による共同実験を開始
- 1979年 「粒子線医科センター」(10年限)に改称
- 1982年 施設完成。陽子線による生物実験を開始
- 1983年 世界初の垂直ビームによる臨床研究を開始
- 1990年 「粒子線医科センター」が10年年限を迎え、新たに「陽子線医学利用研究センター」が発足
- 2001年 病院内に新施設が完成。旧センターが廃止され、同名の「陽子線医学利用研究センター」が発足
- 2004年 国立大学法人への移行に伴い、附属病院関連センターの位置づけとなる
- 2008年 先進医療として承認される
- 2014年 診療部門として「陽子線治療センター」が発足



治療実績

1983年から2000年までの間にKEK(現・高エネルギー加速器研究機構)で治療した実績を含め、2014年7月までに3944名の患者さんを治療しました。そのうち最も多いのが肝臓がん、前立腺がん、肺がんの順となっています。当センターでは、陽子線治療が有効性を発揮できる腫瘍であれば、あらゆる疾患の治療に対応しています。

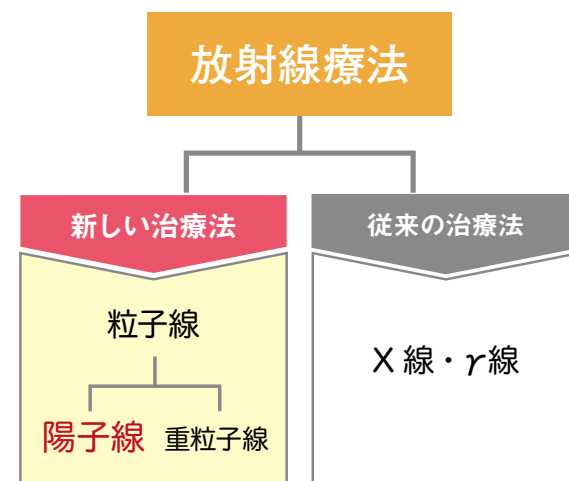
陽子線治療とは

1 陽子線治療は放射線療法のひとつです。

がんの治療法は、
外科手術、化学療法、放射線療法が
三大治療法と言われています。

陽子線治療は、この中の放射線療法のひとつで、先進医療です。

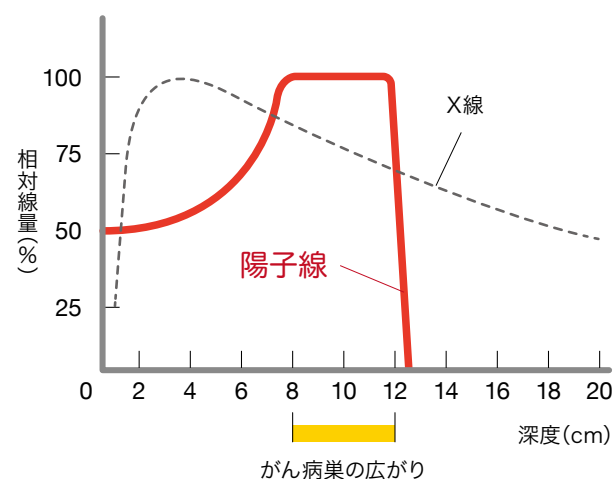
従来の放射線治療では、エックス線やガンマ線といった光子線を使用しますが、陽子線治療は、水素の原子核（陽子）を加速してエネルギーを高めてできる陽子線を治療に使います。陽子線治療は陽子線が持つその物理的特性によって、治療効果が高く、体への負担や副作用が軽い、という点で注目されています。



2 陽子線治療は病巣のみにピンポイントで放射線を照射します。

エックス線などの放射線は、体の表面近くで一番強いエネルギーを放ち、体の奥へ入るにしたがってエネルギーが弱くなり、病巣を超えて体を突き抜けてしまいます。そのため、病巣の奥にある正常な組織や臓器を傷つけることが避けられませんでした。

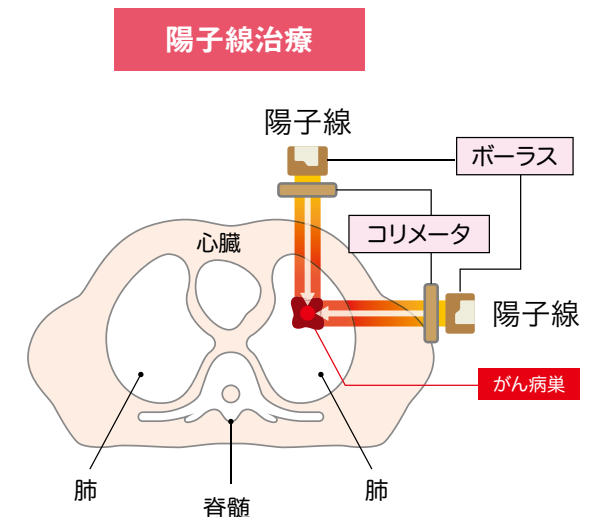
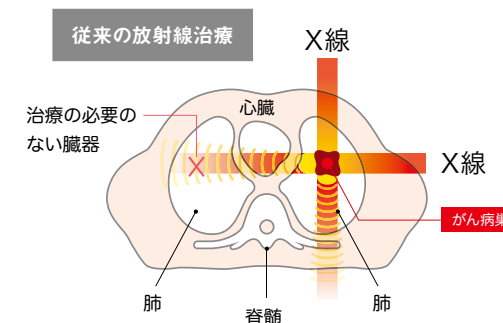
しかし、陽子線は、「設定した深さに到達したときに最大のエネルギーを放出して停止する」という物理的特性を持っています。病巣のある深さに合わせて陽子線の照射を設定すれば、その病巣にあたった時点で最大のエネルギーを放出して停止し、奥までは突き抜けないのです。一人ひとりの患者さんに最適な照射を計画することで、腫瘍をピンポイントでくりぬくように治療することができ、同時に正常な組織への影響を少なくすることができるといふ利点があります。



「設定した深さに到達したときに最大のエネルギーを出して停止する」という性質はブラッグピークと呼ばれます。陽子線治療では、このブラッグピークをがんの病巣の位置や大きさに合わせて設定します。従来の放射線治療より、腫瘍に集中して照射ができるため、高い治療効果が得られます。

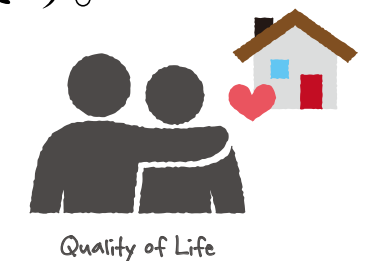
体内における照射イメージ

従来のエックス線治療では、病巣を突き抜けてしまうため、病巣だけでなく、心臓や肺なども照射されてしまいます。陽子線治療では、ブラッグピークを病巣に設定すれば、そこで停止するため、周辺の正常臓器への影響は少なくなります。



3 体への負担が少なく、QOLを保つことができる治療法です。

陽子線治療は、がん細胞のみを狙い撃ちできるため、他の正常な細胞へのダメージが小さく、従来の放射線治療と比較すると副作用が軽くなります。体への負担や、治療後の社会復帰に支障をきたすことが少なく、QOL（生活の質）を保つことができます。また、治療期間中は原則として入院する必要はなく、通院での治療となります。

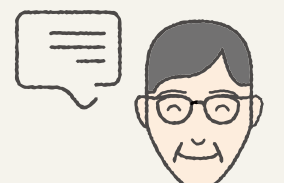


陽子線治療のメリット

- がん病巣のみに、ピンポイントで高いエネルギーで照射できるため、優れた治療効果が期待できる。
- 放射線の影響を受けやすい臓器の副作用を減らし、がん病巣を的確に治療することができます。
- 体への負担が少ないため、高齢者や体力のない人にも治療を施せる。
- 小児や若年者では、放射線治療を受けた後の二次がんの発生を低く抑えることができる。
- 合併症があるために手術ができない人も治療を受けられる。
- 入院の必要がなく、毎日の通院で治療を受けられる。
- 治療後の社会復帰や日常生活への支障をきたすことが少なく、高いQOLを維持できる。

陽子線の副作用

陽子線治療は、従来の放射線と比較すると正常な組織への影響が少ないため副作用を軽減することができます。ただ副作用がまったくないとは言えず、たとえば、照射した部位の皮膚に日焼けのような症状がみられることなどがあります。また、治療後の副作用は、病巣の部位や陽子線の照射角度によってそれぞれ異なります。治療時には、専門医より詳しく説明いたしますので、よく理解したうえで治療を受けるようにしましょう。



陽子線治療を受けるには

受診方法

陽子線治療を受けるには、病気の種類や状態に対して陽子線治療が最適であるか、当センターの専門医による診察と診断が必要となります。

まずは初診予約をお願いいたします。初診予約は、かかりつけの主治医の先生とよく相談されてからお取りください。初診日までに、検査結果やCTなどの画像、診療情報提供書（紹介状）をご用意ください。



予約先
筑波大学附属病院予約センター

029-853-3570

(平日 8:30～17:00)



初診時に必要なもの

必要書類をチェックしましょう！

- ☐ 主治医からの診療情報提供書（紹介状）
- ☐ 直近のCTやMRIなどの診断画像や検査結果、病期（TNM分類）など病状が詳細にわかるデータ
- ☐ 保険証

費用

筑波大学の陽子線治療は、2008年8月に先進医療の承認を受けました。そのため陽子線治療費の248万4千円は、全額自己負担となります。その他の診察、検査、投薬などの費用は公的保険が適用されます。

先進医療	保険医療（診察・検査・投薬・入院費など）	
陽子線の技術料 248.4万円	自己負担 3割	保険給付 7割

患者さんの最終的な自己負担額

保険給付

先進医療部分 … 全額自己負担

陽子線治療は全額自己負担です。費用は照射回数にかかわらず248万4千円です。たとえば10回の照射で治療が終わっても、50回照射した場合でも、負担額は変わりません。

保険診療部分 … 一部負担

診察や検査、投薬、入院費、治療計画用のCT撮影などは、健康保険や国民健康保険など公的保険の対象となり、一部負担となります。

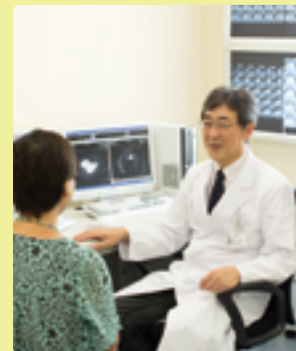
陽子線治療の流れ

実際に陽子線治療を受ける際の、おおまかな流れをご紹介します。陽子線治療は、病巣に正確に陽子線を照射するために、治療計画を立てたり、体を固定する器具や照射器具の作成など、患者さん一人ひとりに合わせた準備が必要となります。

陽子線治療開始へ

1 初診診察

お持ちいただいた紹介状や画像データ、診察などによって病巣や全身の状態を把握し、陽子線治療が最適かどうかを検討します。初診日には、診察と必要に応じて検査の手配をします。検査などの結果、総合的な観点から陽子線治療が最適と判断された後、準備にかかります。



患者さんに症状や治療法をわかりやすく説明。



精密でより負担の少ない治療を目指します。

2-5 陽子線の照射量の測定

専用の装置にコリメータとボーラスをセットし、陽子線を照射して量と分布を測定します。測定結果と治療計画に違いがないかどうか確認できた段階で、実際の治療へと進みます。

2-4 照射器具の作成

照射の形と奥行きを形成する「コリメータ」「ボーラス」と呼ばれる2つの照射器具を患者さんの病巣に合わせて作成します。

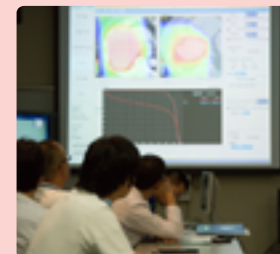
2 治療を始めるための準備 約7～10日間

2-1 固定具の作成

陽子線照射中に、患者さんの体が動いて照射位置がずれてしまわないよう、一人ひとりの体型に合わせた専用の固定具を作ります。

2-2 固定具をつけてCT撮影

固定具を装着していただいた状態でCT撮影をして、治療計画に使用します。



医師全員が集まって毎朝カンファレンスを実施しています。



治療計画室では医学物理士が治療計画をチェック。

2-3 治療計画

患者さんの病状に合わせて陽子線を照射する角度、深さ、量、回数などを計算し、具体的かつ綿密な照射計画を立てます。また、担当医や他の医師、医学物理士、放射技師、看護師などでカンファレンスを行い、治療計画や治療経過等につき参加者全員でチェックし、治療プランについて情報共有します。

治療を始めるまでの準備期間

陽子線治療開始

いよいよ陽子線治療が始まります。

治療期間中は、月曜から金曜*1まで毎日通院して陽子線の照射を受けます。

照射する回数や期間は、患者さん一人ひとりの病状によって異なります。

*1メンテナンス日や祝日を除く

X線を使って正しい照射位置を確認

陽子線が正確に照射できるよう、2方向のX線撮影を用いて位置を確認します。

陽子線の照射精度を上げるために重要な2つの照射器具を照射口にセット

病巣の形に合わせて陽子線の輪郭を決めるコリメータ(右)と陽子線を病巣の奥行きに合わせるボース(左)。この2つの器具を照射口の先にセットします。これらの器具は治療によって病巣が小さくなるたびに作り直します。

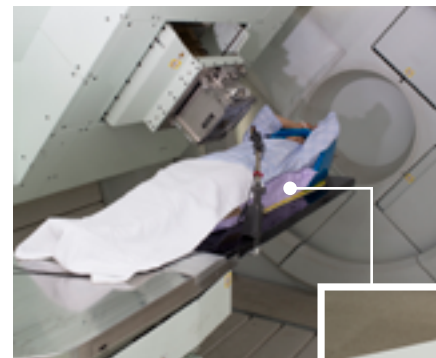


筑波大学が開発した呼吸同期照射システムによってより正確に

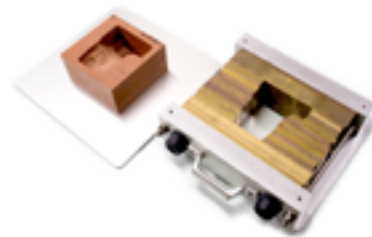
横隔膜は呼吸によって3〜4センチ上下しますが、それに伴って肝臓や肺も上下します。筑波大学では、呼吸の影響を受けず、毎回同じ位置に照射できるように、呼吸同期照射システムを開発。レーザーセンサーを患者さんの腹部にあて、動きを感知してタイミングをはかり決められた位置でのみ、陽子線が照射されます。

治療時間は15〜30分

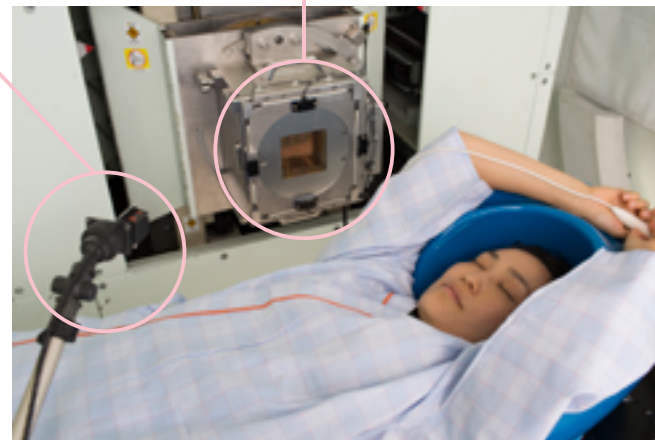
照射中は、痛みなどは感じません。照射自体は1回1〜3分程度で終わります。位置の確認などを含めると15〜30分程度の治療です。



照射中は、体が動かないよう一人ひとりの体型に合わせて作った固定具の上に横になります。(頭部用の固定具を装着する場合もあります。)



患者さん一人ひとりの病巣の大きさや深さに合わせて製作するボース(左)とコリメータ(右)。角度を変えて照射する場合もそれぞれ作成します。



治療後のフォローアップ

陽子線治療が終わった後は、紹介元の主治医と連携をとりながらフォローアップします。3か月に1度、当センターの外来にて、主治医の元での治療経過や検査の結果について診察いたします。治療後5年間は当センターでも経過観察を行い、陽子線治療の専門医の立場から必要なアドバイスを行います。治療後のご相談やご質問は随時受け付けています。



医学と物理学の連携が生んだ治療装置

陽子線治療に使う陽子線を作り出すためには、さまざまな装置から成り立つ巨大な設備が必要です。普段は見ることのできない陽子線治療装置をご紹介します。



ライナック

陽子をはじめに加速する装置。ここで加速された陽子が「シンクロトロン」に入っていきます。

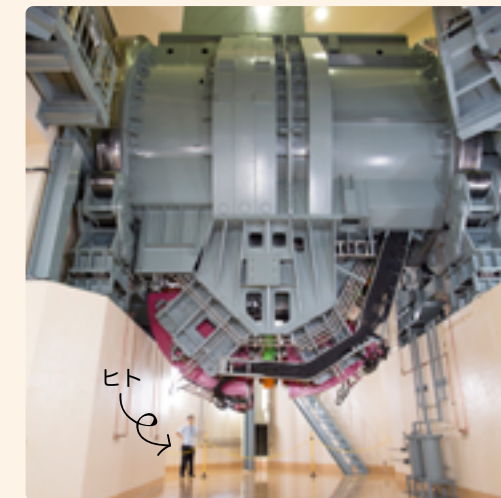


シンクロトロン

陽子を一定の円軌道上で加速して、光速の約60%にまで加速する直径約7mの装置。この速度まで加速すると、30数cmまで陽子線が届くため、体の大きい人でも体内の病巣を治療することができます。

回転ガントリー

高さ10m、重さ200t以上もあるドラム状の装置。内側に照射口があり、照射室へとつながっています。ガントリーを回転させることで、照射口が治療ベッドの周りを360度回転します。当センターには2機設置されています。



実際の人間と比べると、なんて巨大な装置でしょう!!

加速器制御室では陽子線の安定供給を監視

これらの装置で作られる陽子線を安定して供給できるよう、加速器制御室では常に監視しています。



治療の対象となる主な病気

陽子線治療は体への負担が少なく高い治療効果が得られるため、がん治療の有効な選択肢の一つです。

しかし、すべての病気に対して行える治療法ではありません。

以下の条件を満たしていることが必要であることをご理解ください。

また、陽子線治療に適しているかどうかは、当センターの専門医が総合的な見地から診断いたします。

病気の種類や状態などによって、陽子線治療よりも他の治療法が最適であれば、

附属病院の他の専門医と協議しつつ、別の治療法を提案いたします。

基本的な条件

- 他の臓器への転移がなく、病巣が狭い範囲に限られていること。
- 30分間、同じ姿勢で動かずに寝ていられること。
- これから陽子線治療を受けようとする部位に、以前、放射線治療を受けていないこと。
- 病気についての告知を受けており、患者さんご本人が陽子線治療を受ける意思を持っていること。

肝臓がん

治療期間：2～7週間

肝臓がん（肝細胞）がんのほとんどは、B型あるいはC型肝炎ウイルスによる慢性肝炎から肝硬変を経て発症するという経過をたどっています。陽子線治療は、がんに集中的に放射線を照射するため治療効果が高く、正常な肝臓へのダメージが小さいため肝機能の低下が起こりづらい治療法です。長年の肝炎や肝硬変により、肝臓自体ががんを発症しやすい状態となっているため、他の部位に新しくがんができることがあり、専門医による治療後の経過観察が必要です。

治療対象となる病態・条件など

- 病巣が多くても3個以下であり、消化管に接触していない位置にあること。
- 肝臓以外にがんがないこと。
- 肝機能がある程度保たれていること。

治療にあたっての留意点

より精密に照射するために、肝臓にシャープペンシルの芯程度のサイズの金属マーカーを挿入する場合があります。挿入施術に関しては主治医や関係病棟の医師と相談のうえ決定します。

前立腺がん

治療期間：5～8週間

前立腺がんの治療法は、外科的治療、放射線治療、ホルモン療法などの治療法があり、血液検査、画像検査、病理検査で治療方針を決定します。陽子線治療は、放射線治療のなかでは最も有効で安全性の高い治療法の一つです。受診の際には、泌尿器科の主治医と治療法についてよく相談されてから検査所見（特に生検組織標本）をお持ちいただくと方針決定が速やかに行えます。

治療対象となる病態・条件など

- 臓器転移、リンパ節転移がないこと。
- 病巣の状態によって、低・中・高危険群に分類されますが、低危険群の場合は陽子線治療のみ、中・高危険群の場合はホルモン療法を併用します。

治療にあたっての留意点

より精密に照射するために、前立腺にシャープペンシルの芯程度のサイズの金属マーカーを挿入する場合があります。挿入施術に関しては泌尿器科の医師と相談のうえ決定します。

肺がん

治療期間：2～7週間

肺がんは、がん細胞の形態によって、いくつかの種類があります。肺に限局したⅠ期肺がんの場合は、約2週間の通院治療が可能です。近くのリンパ節に転移の見られるⅡ期およびⅢ期肺がんの場合は、化学療法の併用が必要なことが多く、6～7週間かけて陽子線治療を行います。通常の放射線治療に比べて陽子線治療は、肺や骨髄などの臓器への副作用の軽減が期待されています。

治療対象となる病態・条件など

- Ⅰ期、Ⅱ期、Ⅲ期で、肺以外の臓器に転移のない非小細胞肺がん。
- Ⅰ期の場合は、外科治療を希望しない場合や何らかの理由で外科治療が行えない場合が対象。
- Ⅱ期、あるいはⅢ期の場合は呼吸器内科と共同して抗がん剤の併用治療を行います。

治療にあたっての留意点

治療中、治療後とも禁煙が必要です。化学療法を併用する場合は、入院が必要な場合もあります。

食道がん

食道がんの治療法は、主として外科的切除が行われてきています。しかし、合併症や高齢のために手術に不安がある場合には、化学療法と併用した放射線治療が有効な方法です。この放射線治療の部分で、陽子線で行います。陽子線治療は、食道がんへの治療効果を保ったまま、脊髄、肺、心臓という重要臓器への副作用を減らすことができます。

頭頸部がん

頭頸部がんには多くの種類があります。現在の陽子線治療の対象は鼻腔がん、副鼻腔がん、外耳道がんです。がんの種類として扁平上皮がんが多いですが、腺がんや悪性黒色腫にも、陽子線治療が可能です。腫瘍の発生場所、病理的組織診断、進行度によって実際の治療方法は異なりますが、外科的手術、放射線治療、化学療法を組み合わせた集学的治療を行うこともあります。

治療期間：6～7週間

治療対象となる病態・条件など

- 内臓への転移がないこと。
- 陽子線と抗がん剤を併用する化学放射線療法を行います。
- リンパ節まで転移し、照射野の範囲に収まらない場合は、治療対象外です。

治療にあたっての留意点

- 照射後の一定期間は禁酒が必要です。
- より精密に照射するために、食道にシャープペンシルの芯程度のサイズの金属マーカーを挿入する場合があります。
- 化学療法と併用する場合は、消化器内科・外科の専門医と密接な連携をとって行います。

治療期間：6～7週間

治療対象となる病態・条件など

- ほかの臓器への転移がないこと。
- リンパ節へ転移がないか、あるいは単一の照射野に全病巣が入る大きさであること。

治療にあたっての留意点

副作用は、病巣の大きさにより異なるため、診察時に詳しく説明します。

脳腫瘍

脳腫瘍は頭蓋内で発生する原発性脳腫瘍と、ほかの臓器からの転移によってできる転移性腫瘍とに分けられます。脳腫瘍が疑われた場合、造影剤を用いたMRIなどの画像診断を行います。原発性脳腫瘍が疑われた場合は、最終的には手術で腫瘍を摘出し、摘出した組織の検査を行い、治療方針を決定します。

治療期間：5～6週間

治療対象となる病態・条件など

- 原発性腫瘍では悪性神経膠腫、手術による摘出が困難な髄膜腫や神経鞘腫など。
- 転移性腫瘍ではほかの放射線治療が可能なため、陽子線治療は行っていません。

治療にあたっての留意点

治療ではできる限り視神経や脳幹などを避ける方向を選んで照射します。病状によっては陽子線治療が適さない場合もあります。

頭蓋底腫瘍

頭蓋骨の底、脳を支える部分にできる腫瘍を頭蓋底腫瘍と呼びます。腫瘍はいずれも深部にでき、多くの重要な神経や主要な血管などに隣接、あるいは癒着していることが多く、外科治療が難しい領域です。具体的には、脊索腫、軟骨肉腫などの疾患があります。そのほか鼻腔・副鼻腔や眼窩から発生したがんが、頭蓋底へ進展する場合があります。

治療期間：5～6週間

治療対象となる病態・条件など

- 手術が不可能な場合や手術で完全に摘出できない場合。

治療にあたっての留意点

治療ではできる限り視神経や脳幹などを避ける方向を選んで照射します。重要な神経や臓器が密集する場所のため診察時に詳しい説明をします。

小児がん

小児は放射線の影響を受けやすく、放射線を一定以上照射するとその後の骨の成長、知能発達、内分泌機能などに影響が出る可能性があります。また、小児がんが治った後に、長い期間を経て再び新しいがんができることがあります。これを二次がんと呼びますが、放射線治療を受けたことが影響すると考えられています。陽子線治療は、正常組織への放射線をできるだけ減らして、これらの合併症の発症を抑えることができる治療法です。

治療期間：2～6週間

治療対象となる病態・条件など

- 小児固形がんで放射線治療が必要な場合。病状によっては、他の放射線治療を勧める場合もあります。

治療にあたっての留意点

化学療法や手術と組み合わせて治療する必要がありますので、まず主治医と相談してください。治療のタイミングが大切ですので、早めにご相談ください。

交通アクセス



車でお越しの方

常磐自動車道「桜・土浦IC」よりつくば方面へ。「大角豆(ささぎ)」交差点を右折し県道55号(学園東大通り)を下妻方面へ進む。「妻木(さいき)」交差点を左折し学園北大通りを進み、2つ目の信号を右折。次の信号を左折すると、筑波大学附属病院の案内板があります。

首都圏中央連絡自動車道(圏央道)「つくば中央IC」より県道19号線(サイエンス大通り)を「研究学園駅」方面へ。「大境」交差点で右折し県道24号(土浦学園線)を進む。「春日3丁目」交差点で右折すると、筑波大学附属病院の案内板があります。
※病院内の駐車場は混雑が予想されますので時間の余裕をもってご来院ください。



公共交通機関でお越しの方

つくばエクスプレス「つくば駅」よりつくばセンターバスターミナル6番乗り場から約10分。筑波大学循環(右回り)または「筑波大学中央」行き乗車、「筑波大学病院入口」下車。

JR常磐線「土浦駅」よりバスターミナル西口2番乗り場から約45分。「筑波大学中央」行き乗車、「筑波大学病院入口」下車。または「つくばセンター」行き乗車、つくばセンターにて乗り換え。

陽子線治療に関するお問い合わせ先

陽子線治療に関するお問い合わせを随時受け付けております。
ご質問のある方は、どうぞお気軽にお問い合わせください。

お問い合わせ方法

右の質問項目の回答をFAX、郵便、Eメールにて下記までお送りください。医師が拝見し、文書にてご返信いたします。
・返信は約1週間を目安にお待ちください。
・問い合わせは、患者さん本人、患者さんより了解を得たご家族の方からに限られていただいております(電話では応じていません)。

返信先もご記入ください

- 1 お問い合わせされた方のお名前
- 2 患者さんとの続柄
- 3 連絡先(住所)、電話番号、FAX、Eメールアドレス



1	診断されている病名
2	転移はありますか(どこの臓器ですか)。
3	過去に放射線治療をうけたことはありますか(どこの部位ですか)。
4	治療中の病気はありますか(診断名はなんですか)。
5	患者さんの性別と年齢
6	そのほかの質問事項