

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



筑波大学附属病院
University of Tsukuba Hospital



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

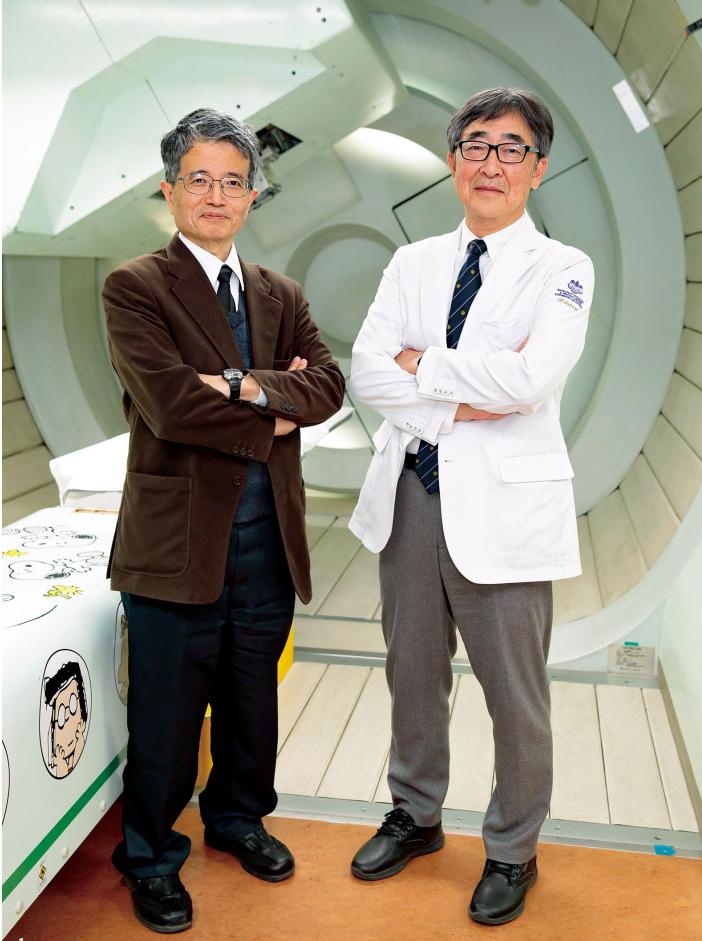
陽子線治療開始

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. 左から榮武二陽子線医学利用研究センター長、櫻井英幸陽子線治療センター部長。

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。

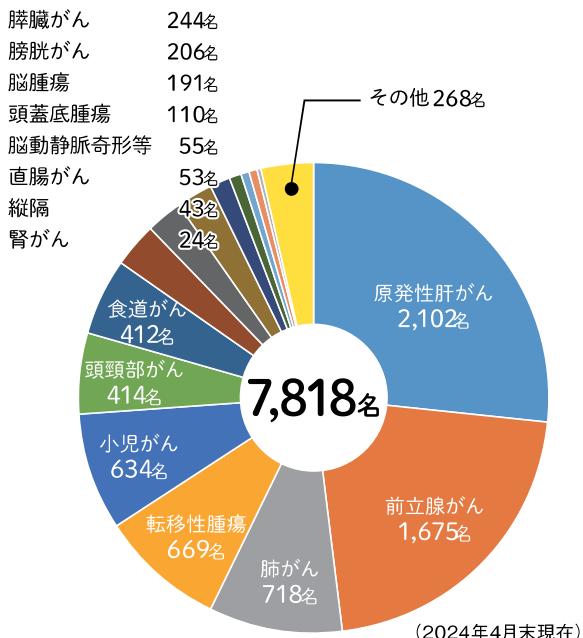
現在、がんの治療は、手術や化学療法、放射線治療などの治療法の良い部分を集めて患者さんの治療にあたる集学的治療が主体となっています。陽子線治療も、集学的治療の一部として機能することで、患者さんの生活の質(QOL: Quality of Life)の維持に寄与できると思います。

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、全般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 「粒子線医学科学センター」(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 「粒子線医学科学センター」が10年限を迎える新たに「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
- 2016年 小児固形がんの陽子線治療が保険適用となる
- 2018年 前立腺がん、頭頸部悪性腫瘍(一部)、骨軟部腫瘍の陽子線治療が保険適用となる
- 2022年 肝細胞がん、肝内胆管がん、局所進行性肺がん、局所大腸がんの陽子線治療が保険適用となる
- 2024年 早期肺がんの陽子線治療が保険適用となる



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、2024年4月までに7,818名の患者さんを治療しました。そのうち最も多のがんは肝臓がんで、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

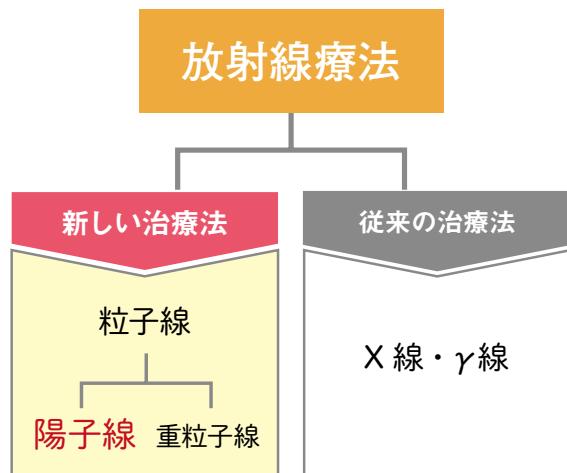
1 陽子線治療は放射線療法のひとつです。

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一つです。

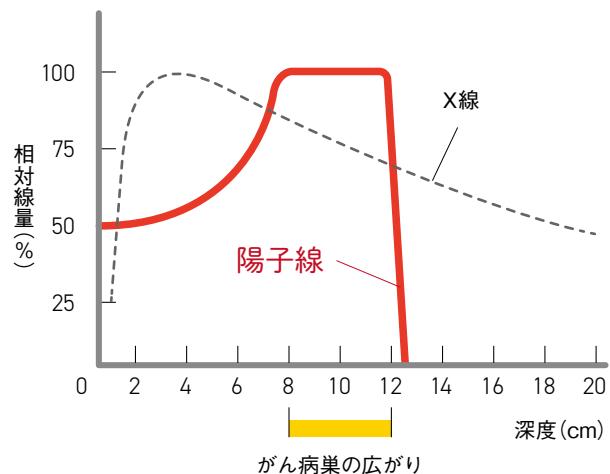
従来の放射線治療では、エックス線やガンマ線といった光子線を使用しますが、陽子線治療は、水素の原子核（陽子）を加速してエネルギーを高めてできる陽子線を治療に使います。陽子線治療は陽子線が持つその物理的特性によって、**治療効果が高く、体への負担や副作用が軽い**、という点で注目されています。



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、体の表面近くでいちばん強い効果があり、体の奥へ入るにしたがって効果が弱くなり、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。

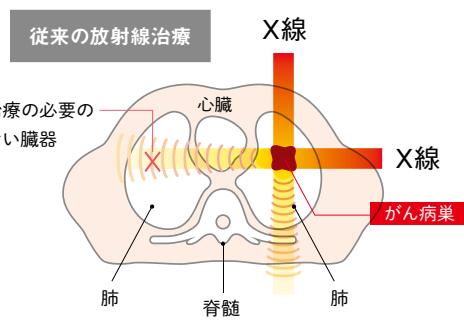
しかし、陽子線は、「設定した深さに到達したときに最大の効果を発揮して停止する」という物理的特性を持っています。病巣のある深さに合わせて陽子線の照射を設定すれば、その病巣にあたった時点で最大の効果を発揮して停止し、奥までは突き抜けないのです。一人ひとりの患者さんに最適な照射を計画することで、腫瘍をピンポイントでくり抜くように治療することができ、同時に正常な組織への影響を少なくすることができるという利点があります。



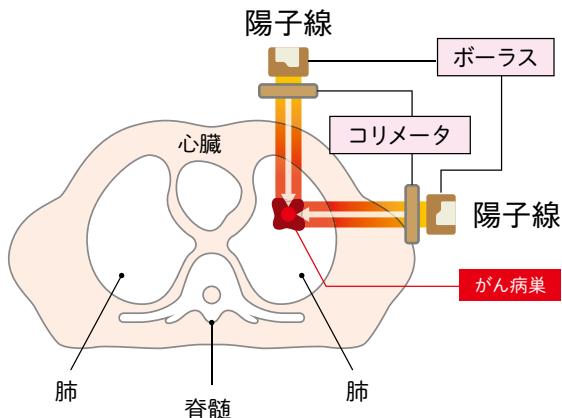
「設定した深さに到達したときに最大の効果を発揮して停止する」という性質はブレーキングピークと呼ばれます。陽子線治療では、このブレーキングピークをがんの病巣の位置や大きさに合わせて設定します。従来の放射線治療より、腫瘍に集中して照射ができるため、高い治療効果が得られます。

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、ブレー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。



陽子線治療



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すみます。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。
- 放射線の影響をうけやすい臓器の副作用を減らしながら病巣を的確に治療することができる。
- 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

治療費

*2024年6月現在、保険診療、先進医療として認定されている疾患を記載しております。

病気の種類	公的医療保険で治療できる病気	公的医療保険で治療できない病気
	小児腫瘍 頭頸部悪性腫瘍 (口腔・咽喉頭の扁平上皮がんを除く) 骨軟部腫瘍 * 前立腺癌 (転移のないもの) 肝細胞癌 (長径4cm以上) * 肝内胆管癌 * 局所進行性膀胱癌 * 局所大腸癌 (手術後の再発) * 早期肺癌 (I期からIIA期までのものに限る) *	肺癌 (II期以降のもの)、食道癌、 脳腫瘍、腎癌、膀胱癌、転移性癌 など 詳しくはお問合せ下さい
区分	保険診療	先進医療
費用	一部負担 (1~3割) 公的保険の自己負担割合に応じて、1~3割の自己負担で治療が可能です。ただし、病気や治療、検査内容によって総費用は異なります。	陽子線治療技術料：全額自己負担 初回 297.4万円 陽子線治療の技術料は照射（治療）回数にかかわらず一律です。 民間医療保険の先進医療特約の対象となります。
高額療養費制度	適用になります 詳しくは各市町村の健康保険担当窓口や ご加入の健康保険組合にご相談ください。	適用なりません

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いたします。
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。

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。

治療を始めるまでの準備期間



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。



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。

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ラス(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、動きを感じ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。



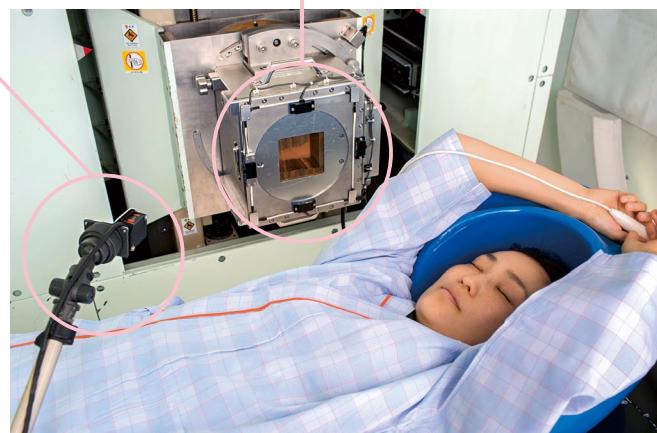
患者さん一人ひとりの病巣の大きさや深さに合わせて製作するボーラス(左)とコリメータ(右)。角度を変えて照射する場合もそれぞれ作成します。

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。



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カ月に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隨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しょう。



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。

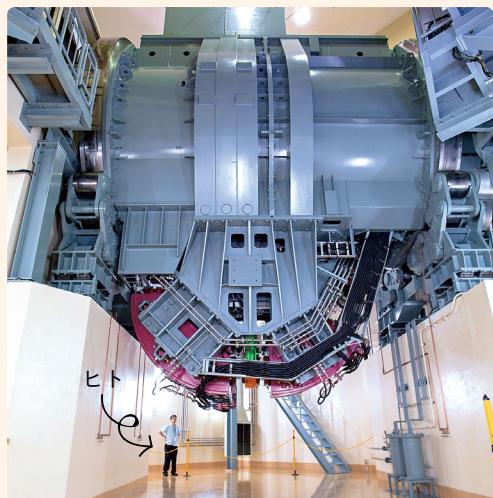


シンクロトロン

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。



交通アクセス



車でお越しの方

※カーナビゲーションにて電話番号を入力する場合には、
代表電話番号 029-853-3900 を入力してください。

常磐自動車道「桜・土浦IC」から当院へ(約20分)

- つくば方面出口
- 東大通りの妻木(さいき)交差点を左折
- 2つ目の信号を右折
- 次の信号を左折

首都圏中央連絡自動車道(圏央道)「つくば牛久IC」から当院へ

- つくば方面出口から稻岡交差点を左折 (約25分)
- 西大通りを直進し、春日3丁目交差点を右折

国道6号線から当院へ

- ひたち野うしく駅近く、西大通り入口から西大通りを直進
- 春日3丁目交差点を右折

※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(TX)ご利用の方

- つくば駅A3出口から地上、つくばセンターへ。
- つくばセンターバスターミナルから以下の行き先へ。
行き先:「石下駅」「下妻駅」「筑波大学病院」
降車バス停:「筑波大学病院」

JR常磐線ご利用の方

土浦駅西口3番のりばから
荒川沖駅西口4番のりばから
ひたち野うしく駅東口1番のりばから

行き先
「筑波大学病院」

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させ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

- 問い合わせされた方のお名前
- 患者さんとの続柄
- 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