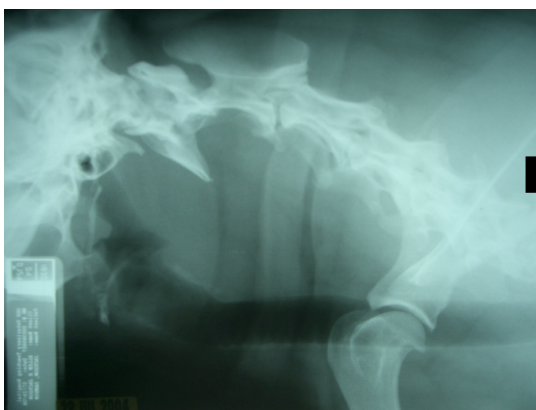


## **放射線治療を受けられる飼い主様へ**

放射線治療というと、「難しくてピンとこない」とか、「体に悪いもの」もしくは「副作用の強い治療」といった印象をお持ちになるかもしれません。このしおりは、動物患者に対する放射線治療について、よく理解した上で治療を選択していただくためのものです。効果・副作用・費用等についてよく知った上で、大切なワンちゃんやネコちゃんにベストな治療法を選んであげましょう。

### **1. 放射線治療とは？**

レントゲン検査をご存知でしょうか？外からでは見えない体の中を、X線という放射線の一種を用いて撮影する検査です。レントゲン検査で用いるX線は弱いX線なので、動物の体にほとんど影響を及ぼしません。しかし、このX線のエネルギーをもっと強くして、非常に強力なX線にすると、体の細胞の成長を止めたり、細胞を殺す作用をもちます。これは、細胞の核にあるDNAと呼ばれる遺伝子物質がX線により傷ついてしまうからです。DNAに傷がついた細胞は、分裂・増殖するのをやめたり、細胞分裂に失敗して死んでしまったりします。放射線療法は、このX線による効果のがん治療に応用したものです。放射線によってすぐに細胞が死ぬというわけではありませんが、その細胞が次に分裂しようとしたときに分裂できなくなる、というしくみです。例えば、腫瘍の塊に放射線を照射すると、腫瘍の成長が緩やかになる、もしくはゆっくり時間をかけながら縮んでいく、といった効果が期待されます。



↑ 頸部にできた腫瘍のために気管などが圧迫されて呼吸が苦しかった症例です。

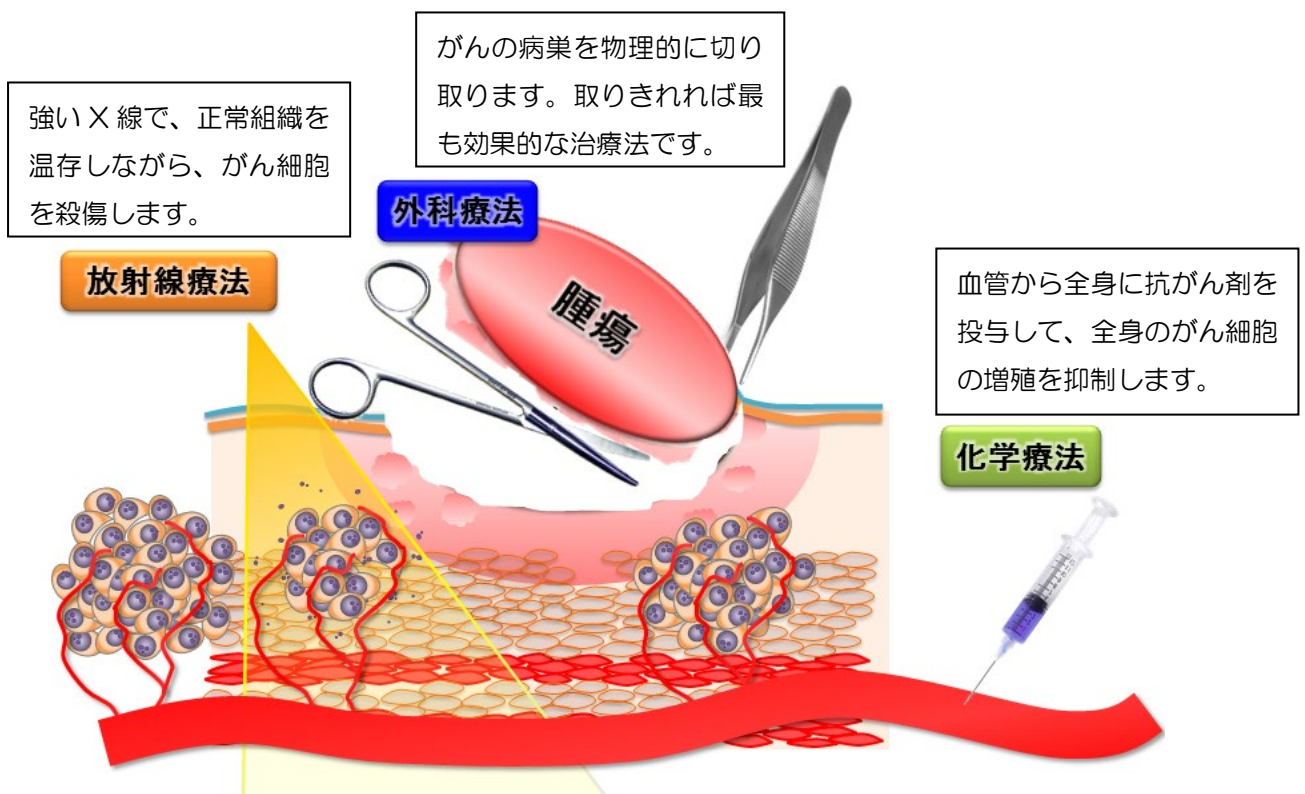


↑ 放射線治療後、頸部の腫瘍は小さくなり、呼吸も嚥下も楽にできるようになりました。

## 2. どんな時に使われるの？

放射線療法がもっとも多く使われるのは、外科手術には不向きな場所にできた腫瘍（脳腫瘍、鼻腔内腫瘍、心臓の腫瘍など）や、大きすぎて手術できなかったり、手術だけでは取り残しがでてしまうタイプの腫瘍を治療するときです。このような腫瘍に対し、腫瘍とその周りの正常組織を含めた範囲にX線を照射します。すると、照射範囲に含まれる腫瘍細胞と正常細胞の両方に対して、ダメージを与えることになるわけですが、一般に腫瘍細胞の方が正常細胞よりも放射線に弱いという特徴があります。放射線療法の効果は、細胞分裂のときにでますから、常に分裂している細胞ほどダメージが出やすい、ということになります。つまり、腫瘍細胞のように常に分裂・増殖を繰り返している細胞には大きなダメージを与えられますが、分裂していない周りの正常細胞にはダメージが出にくい、というわけです。

ただし、放射線治療は全身に施せるわけではありません。体の一部分に限った腫瘍に対して用いられます。そして、照射したところには効果が期待できますが、照射野の外にある腫瘍細胞には一切効き目はありません。こうした意味で、放射線治療は外科手術とおなじ「局所療法」に分類されます。これに対して、抗がん剤などの全身にいきわたるお薬で治療するものを「全身療法」と呼びます。

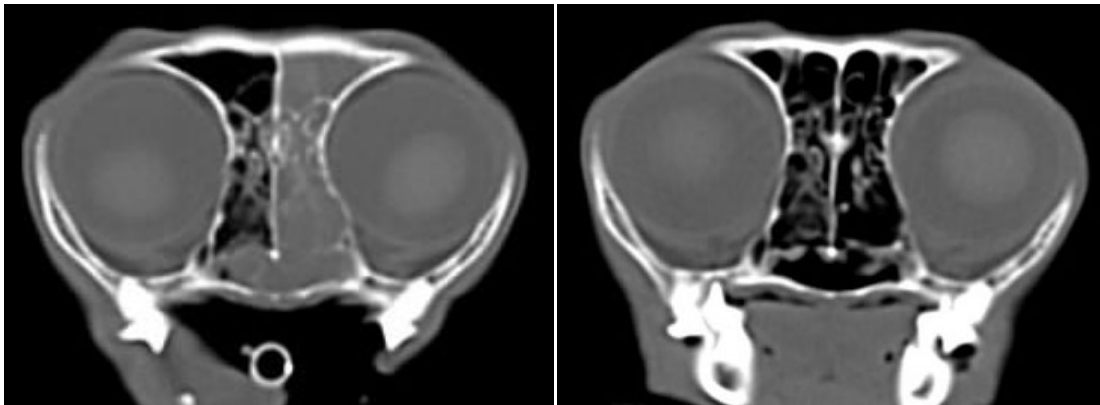


### 3. 外科手術とどうちがうの？

治療した局所にしか効かない、という点では外科手術と一緒にですが、放射線療法の場合は「照射範囲の中で、正常組織を温存しながらがん組織に効かせることができる」、といったメリットを持っています。ですから、鼻の中や脳内など、手術で大きく切除することが不可能な場所にできた腫瘍でも、周りの正常組織ごと、広い範囲で照射して、腫瘍組織を選択的に縮めることが可能となります。

ただし、腫瘍の種類によっては放射線の効きやすいタイプと効きにくいタイプがあり、効きにくいタイプの腫瘍では、放射線治療をしても腫瘍が縮まない、短期間で再発する、といったことが起こり得ます。このため、無理なく手術で取りきれる場所では、外科手術をおすすめしています。放射線治療は手術の代わりとなるものではありません。

手術と比べて、放射線のメリットとしては「切らずに治療ができる」というものです。ですから、麻酔リスクの高い症例やどうしても手術を希望されないまたはできない状況では、より低侵襲に腫瘍の成長を遅らせることが可能です。



↑ 鼻の中の癌の一種(鼻腔腺癌)に罹った猫の頭部 CT 像。治療前(左)にみられた鼻腔を充満する腫瘍組織が、放射線治療終了後(右)には消失しています。

### 4. 副作用はあるの？

はい。低侵襲に腫瘍を治療できる放射線療法ですが、場所によってはさまざまな副作用が出る可能性があり、どういう副作用がでるか、どれくらいリスクがあるのかは、放射線を照射する場所と線量によって変わります。致命的な副作用が出ないように、本院の専門獣医師が線量を調節致しますが、腫瘍を治療する上でどうしても避けられない副作用というものもあります。

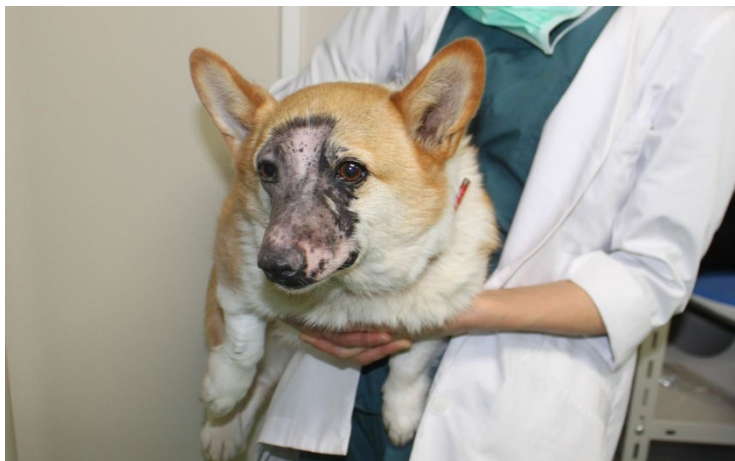
まず、常に分裂している組織は放射線に弱い、という説明をしましたが、腫瘍の他にも正常組織でも常に分裂している組織があります。代表的なものに皮膚や粘膜と



いった体の表面の組織があります。粘膜は口の中や腸管の中などを覆っている組織です。これらの組織は、毎日新しい細胞が新生する一方で、古い細胞が死んで表面からはがれおちるといった新陳代謝によって維持されています。放射線をあてると、新しい細胞が新生されなくなるため、放射線治療開始から約 2～4 週間程度で、皮膚が日焼けしたようにヒリヒリしだし、さらにジクジクとした湿った皮膚炎を起こします（下の写真を参照）。皮膚の細胞は再生しますから、この副作用は放射線治療終了後約 2～4 週間程度で自然治癒します。再生した皮膚は被毛のないピンク色の皮膚となることが多いです（被毛は数か月でまた生えてきます）。このように、再生能力の高い、分裂している組織に起きる一時的な障害を「急性障害」と呼びます。急性障害は分裂している組織への障害ですから、腫瘍（これも分裂している組織の一つ）にダメージを与えようとすれば、同時に起きてしまう副作用です。一時的ですので、場合によっては抗炎症剤やかゆみ止めなどのお薬で我慢してもらい、自然治癒するのを待つ、ということもあります（**皮膚障害は、従来の放射線治療では大きな問題でしたが、後述の高精度放射線治療を用いることで、現在ではかなりの程度避けることができるようになりました。くわしくは後述の「高精度放射線治療について」をお読みください。**）。



←放射線治療による一時的な皮膚障害。左から、放射線治療開始時、開始から 3 週間、治療終了 2 週間経過時の写真です。



←放射線治療後の一時的な脱毛。鼻の中にできた腫瘍を治療するために顔面全体に放射線治療を行った症例。放射線をあてたところが脱毛しています。痛み・かゆみは全くありませんが、外観上問題となります。被毛は約 4 ヶ月ほどでまた生えてきます。

放射線療法の副作用には、この「急性障害」に加えて、「晩発障害」というものがあります。急性障害がもともと分裂能力・再生能力の高い皮膚・粘膜などに対する副作用であるのに対し、晩発障害とは、元来分裂していない正常組織に対する副作用です。例えば、脳や脊髄といった神経組織、骨、筋肉、肺、心臓など、体の多くの組織はほとんど細胞分裂をしていません。これらの臓器に放射線があたると、細胞のDNAに傷はつきますが、短期間では何の反応も起きません。それは、「放射線の作用は細胞が次に分裂しようとしたときに出る」からです。これらの臓器の細胞の入れ替わりは、何か月～何年という長いスパンで行われます。よって、放射線の副作用があらわれ始めるのも、放射線治療から数か月後または数年後ということになります（「晩発障害」と呼ばれます）。例えば、脳組織の壊死、骨壊死による骨折、筋肉の線維化、肺機能の低下、心機能の低下、などです。重要なのは、これら臓器にはもともと再生能力が乏しいため、いったんこのような晩発障害が出てしまうと、永久的な障害となってしまうということです。晩発障害は、時に致命的となってしまうこともあるため、各臓器の放射線耐用量によって、照射する放射線の線量を調節して、その発生リスクを5%以下程度にコントロールします。0%とすることはできませんし、腫瘍のできた場所によっては5%以上のリスクを冒さなくてはならないこともあります。

放射線とは別に、動物の場合は全身麻酔（もしくは注射による鎮静）が必要となりますので、麻酔に関わるリスクを伴います。外科手術とちがって、1回の麻酔時間は極めて短いため、高いリスクではありませんが、最小限のリスクは伴ってしまいます。

## 5. 治療にはどのくらいの期間がかかるの？

通常3週間から4週間で完了します。1回の治療は約15分程度で終了しますが、手術とちがって、放射線治療は1回では終わりません。照射したい総線量を、何回かに細かく分割して、小線量を何回も照射します。これは、分裂している腫瘍組織が小線量でもダメージを受けるのに対し、分裂していない正常組織は小線量を耐えてくれる傾向があるためです。逆に、1回あたりの線量を大きくしてしまうと、腫瘍にも効きませんが正常組織にもかなりのダメージが起きてしまいます。よって、1回あたりの線量を大きくすればするほど、前述した晩発障害のリスクが高くなってしまいます。晩発障害のリスクをある一定レベル以下に維持した場合、1回線量を小さく、照射回数を多くした方が、照射できる総線量は高くなり、腫瘍に対する効果も高くなります。しかしながら、動物の場合は照射頻度を多くすると、麻酔の頻度も多くなってしまうので、もっとも細かく分割しても20分割程度です（人では30～35分割します）。本院で用いるプロトコルは、総線量を3～4分割して、週に一回のペースで照射するものから、総線量を10～20分割して、週に3～5回のペースで照射するものまで、さまざまなものがあります。どのプロトコルが適切かは、副作用のリスクや飼い主さんのご希望などを踏まえた上で、ケースバイケースで飼い主さんにご相談の上、決めさせていただいてお

ります。また、このしおりの最後に説明しますが、高精度の装置を用いて行う、定位放射線治療という手法では、腫瘍部位のみにピンポイントで集中照射します。この場合には全治療を1～3回（1～3日間）の短期間で終了させます。

## 6. どのくらい効果があるの？

放射線治療に対する感受性は、腫瘍の種類によって様々です。例えば、感受性の高い腫瘍では、放射線治療後2～3日で腫瘍そのものが完全に消失することも珍しくありません。逆に、放射線感受性の低い腫瘍では、放射線をあてたにもかかわらず、腫瘍の成長が停止せずに、ゆっくりにはなっても成長し続ける、ということもあります。また、数か月かけてゆっくり成長するタイプの腫瘍は、放射線の効果もゆっくりで、腫瘍が縮小するのに3～6か月かかることもあります。

## 7. 外来でも実施できますか？

はい。放射線治療は3～4週間かかるものですが、通常治療予定の日の午前中に連れてきていただいて、治療が終わったら夕方お迎えに来ていただいております。毎回麻酔をかけることとなりますが、短時間の麻酔で、手術と違って深い麻酔ではないため、治療が終わればその日のうちにおうちに帰れます。具体的には、朝ご飯を抜いたうえで、午前中に連れてきていただき、午後（場合によっては午前のおきもあり）放射線治療を実施して、麻酔から十分覚めたのを確認したら、飼い主さんにお迎えに来ていただく、といった流れです。治療自体は場所にもよりますがだいたい5～15分で完了します。もし週に何回も通院するのが難しい場合には、入院でも対応しております。例えば、1日一回治療が必要な患者さんでは、月曜日に連れてきていただいて、金曜日にお迎えに来ていただくといった形をとることも可能です。

## 8. 治療費はどのくらいかかるの？

正確な治療費は個々の動物の状態によって変わりますが、目安として下記の料金を参考にしてください。治療計画用CT/MRI撮影費・麻酔料金・入院費を含んだ合計の料金の目安となります。治療途中で中止した場合でも総額は変わりません。

★緩和的放射線治療(4～6回)	= 約28～42万円程度
★多分割放射線治療(15回まで)	= 約62～76万円程度
★       "       (15～20回)	= 約68～90万円程度
★定位放射線治療(1～3回)	= 約39～70万円程度

実際の金額は、麻酔薬の種類（鎮静処置で済む場合と全身麻酔が必要な場合があります）や、症例の一般状態（治療中の集中管理が必要かどうか）などによって異なりますので、くわしくは担当医にご相談ください。

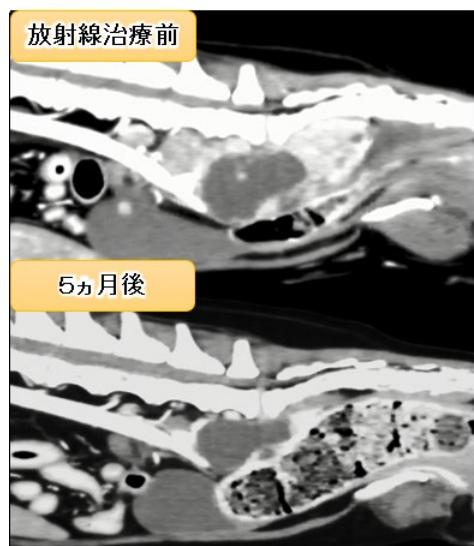
※上記は2020年4月の料金改定後の概算です。



## 9. 放射線治療の例

実際の放射線治療の効果のイメージを持っていただくために、下に当センターで治療した過去の症例の画像を示します。治療反応および腫瘍縮小にかかる期間は個々の腫瘍の種類によって異なりますので、くわしくは担当医にご相談ください。

### 【腫瘍の転移によって腫大した骨盤腔のリンパ節】

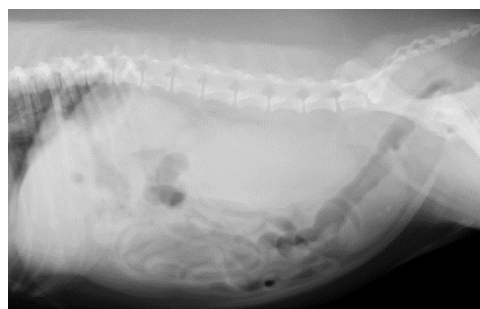


腫大したリンパ節によって直腸が圧迫され、排便が難しくなっていた症例です。

放射線治療（週5回 × 4週間、計20回）を実施し、腫瘍の縮小を認め、排便も通常通りできるようになりました。直腸を含む放射線治療では、急性障害として直腸炎によるしぶりや排便時の痛み、下痢がみられることがあります。この症例ではほとんど副作用は見られませんでした。晩発障害として、4～6か月後に直腸狭窄や穿孔（直腸壁に穴が開くこと）が起こる危険性があるため、このリスクを回避するために20回というたくさんの回数に小分けして照射する必要があります。

### 【精巣腫瘍の腹腔内リンパ節転移】

放射線治療前



放射線治療後

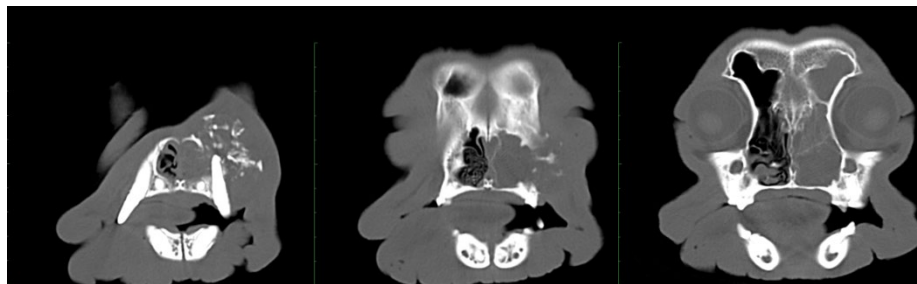


精巣の腫瘍がお腹の中のリンパ節に転移して巨大になっていた症例です。お腹全体に及んでいるため、照射できる放射線の量も限られてしまいましたが、精巣腫瘍は放射線に対する感受性が高いため、比較的少ない放射線量で治療効果が期待できます。本症例では、週5回 × 2週間、計10回の放射線治療を実施し、術後顕著な腫瘍の縮小を認めました。ただし、放射線治療はあくまで局所治療であるため、照射野外で腫瘍が進行しないように、全身的な抗がん剤治療を追加で行う必要があります。放射線に感受性の低い腫瘍がお腹の中に発生した場合には、腹腔内臓器の副作用を起こさずに腫瘍に対して効果を上げるのは不可能なため、放射線治療の適応にはなりません。

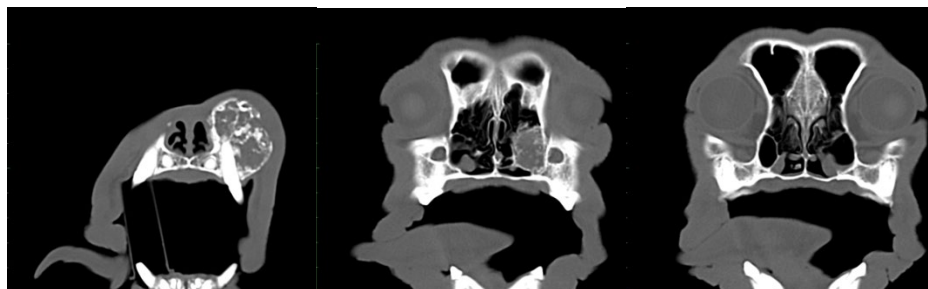
### 【上顎から発生し、鼻腔に侵入した腫瘍】

棘細胞性エナメル上皮腫という、歯の周りから発生して周囲の骨を破壊し増殖する腫瘍です。放射線感受性が高く、下の症例のように広範囲に浸潤した場合でも、放射線でコントロールすることが可能です。ただし、広範囲に浸潤すれば、それだけ放射線で治療する範囲も広がりますので、脱毛や眼球への副作用などを考慮しなければなりません。この症例では、週に5回 x 3週間、合計15回の治療を行いました。

#### 放射線治療前



#### 放射線治療後9ヶ月



## 10. 放射線治療後の再診スケジュール

放射線治療は、治療中に副作用が起こるわけではありません。治療後に急性障害、晩発障害の程度および腫瘍の再発・転移の有無を定期的にチェックすることは、治療そのもとと同様に重要です。

治療終了後1～2週間目：急性障害チェックのための身体検査

治療開始日から6週間目、3か月目、6か月目、（以降3ヶ月おき）：腫瘍の再増大の有無、晩発障害の有無のチェックのためのCT/MRI検査を実施します。

定期健診の際の画像検査・麻酔料金は、検査費を理由に定期健診を受けられない方が出ないようにとの配慮から、再診料金（CT検査による再診＝約5万円弱、MRI検査による再診＝6万円弱）でお受けしております。安全な放射線治療の実施のため、治療後には当院またはお近くの画像センターでの定期検診が必須となりますので、ご理解くださいますようお願いいたします。北海道以外の遠方からの治療依頼につき、当センターでの定期検査が困難な場合には、ホームドクターとの連携による対応を検討しますので、ご相談ください。



## 高精度放射線治療の開始について

北大動物医療センターでは、2014 年1月に、最新式放射線治療システムを導入し、同 8 月より、専門医資格を持つ獣医師の主導による高精度放射線治療を開始しております。動物での高精度放射線治療施設は世界的にも少なく、国内では唯一の施設となります。

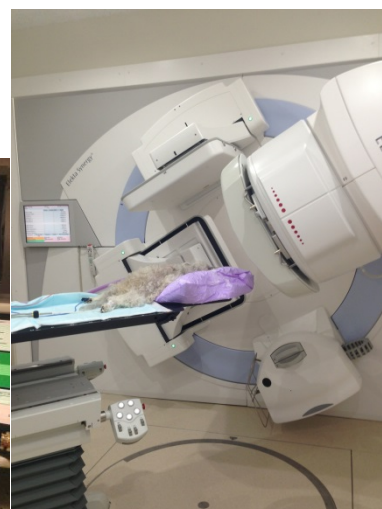
### 1. いままでの治療と何が違うの？

これまで、北大動物医療センターでは低エネルギーの治療装置を用いて放射線治療を行ってきました。エネルギーが低いため、深部の腫瘍に十分な線量を照射できなかったり、腫瘍の形に合わせた照射野が作れないといった問題点がありました。今回、新たに導入した放射線治療システムは、よりエネルギーの高いリニアックという装置を用い、腫瘍により選択的に照射するための周辺システムを装備しています。低エネルギー機が 300kV(キロボルト)前後のエネルギーなのに対し、リニアックでは 4～10MV(メガボルト※)という高エネルギーで、深部の腫瘍にも対応します。また、エネルギーは 4, 6, 10MV と 3 種類から、動物のサイズや腫瘍の位置に合わせた選択が可能です。



深部腫瘍の治療が可能なおことに加え、リニアックでは専用のコンピュータを用いた正確な線量計算が可能となります。従来の低エネルギー装置では、照射野内の数か所でしか投与線量の計算を行っていませんでしたが、リニアックでは必要であれば治療計画コンピュータ(TPS)を用いた 3 次元的な線量分布の計算が可能です。これにより、周囲の放射線を当てたくない正常臓器を確実に避けられているかの評価ができ、より安全に放射線治療を行うことができます。

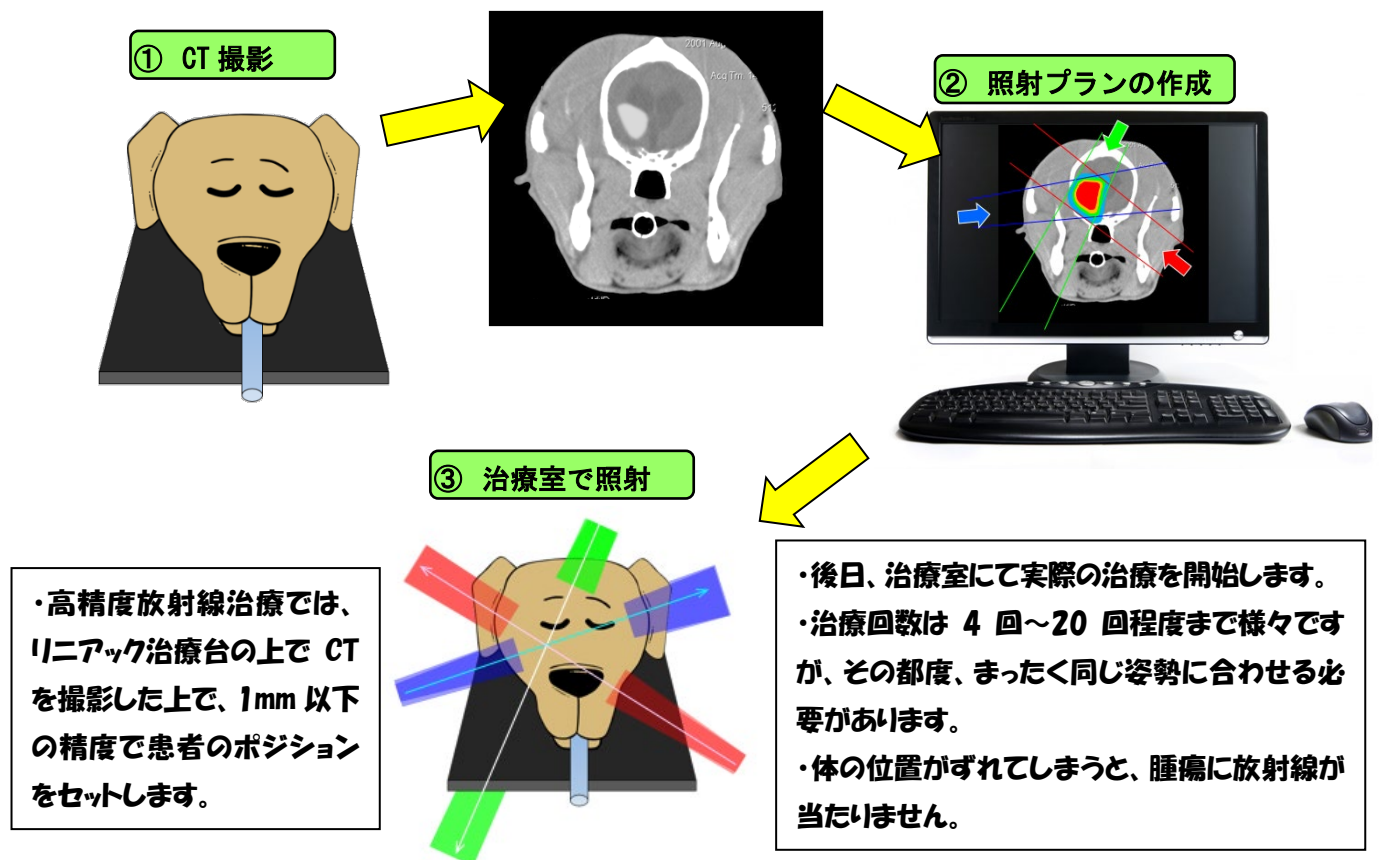
北大動物医療センターの放射線治療システムの外観。  
さまざまな周辺の制御システムにより、より正確で安全な放射線治療を実現します。



## 2. 高精度放射線治療とは？

通常の放射線治療と異なり、装置の精度や患者の位置決めが一定の基準以上に正確な放射線治療を「**高精度放射線治療**」と呼び、この中には後述する強度変調放射線治療 (IMRT) や定位照射 (SRT) などの最新の照射法が含まれます。

放射線治療では、まず CT 検査などで体の中の腫瘍の位置を正確に把握し、この位置情報をコンピュータに取り込みます。その後、コンピュータ計算を用いて、放射線を当てる方向や照射する放射線の線量を決めます。この治療プランが出来上がったら（通常 1 時間～半日程度かかります）、治療室で実際の照射を行います（下図）。



この方法での問題は、コンピュータで計算した通りに照射するには、治療台の上で CT 検査時とまったく同じ体位や位置を再現する必要があることです。実際には動物の体を全く同じ位置に再現するのは不可能ですので、治療プランを作成するには、位置合わせの不正確さを考慮して 5mm～1cm ほどの余裕をもって広めの照射野を設定します。これにより、毎回の照射時に多少体の位置がずれていたとしても、腫瘍の一部に放射線が当たらないといった事態を防げます。ただし、この方法では腫瘍が及んでいない周囲の正常組織にも不必要に放射線が当たってしまうことになります。

高精度放射線治療では、この問題を解決するために「**画像誘導放射線治療**

**（IGRT）**という技術を使います。IGRT とは、放射線治療器自体に CT 撮影機能が付属しており、これを用いて毎回の照射時にも随時 CT 撮影を実施し、患者の位置ずれを補正する技術です。これにより、治療プラン作成時に余分なマージンを含める必要がなくなり、腫瘍にのみ高線量を集中させることが可能となります。北大動物医療センターで採用したシステムでは、治療器に付属した CT 機能に加えて、治療室に設置した赤外線カメラを用いて正確なポイントまで自動で患者位置を補正するシステムです。この他にも、高精度放射線治療に必要とされる精度を維持するために、装置本体の厳密な精度管理や、コンピュータの計算通りに実際に照射できているかを検証する設備類をもちいて日々のシステム管理を行っております。

### 3. どんな治療ができるの？

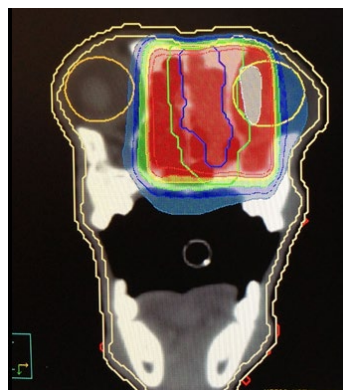
高精度放射線治療によって、低エネルギー機や一般的なリニアックでは治療が困難であった症例にも、より安全かつ効果的に放射線治療を実施できるようになりました。ここでは、高精度放射線治療を用いて実施できる、代表的な病気を紹介いたします。ただし、腫瘍症例のすべてにおいて高精度放射線治療が必要なわけではなく、従来の治療法の方が適している場合もありますので、どのような治療法が適しているかは、担当医に相談ください。

#### ○鼻腔内腫瘍

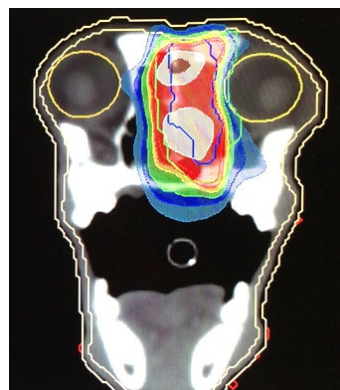
鼻の中に腫瘍ができることは、犬猫では比較的良好とみられます。症状としては、鼻血やくしゃみなどから始まり、進行すると鼻梁の腫脹や、眼が飛び出してくるなどの顔面の変形を生じます。

下の図は、左の鼻腔内に腫瘍ができてしまった症例の CT と外観です。

腫瘍が進行してしまうと、最終的に重度の顔面の変形などが問題となります。



← 従来の放射線治療（3D-CRT）では、眼や皮膚などに重度の障害が出てしまうことが問題でした。



← 高精度放射線治療では、強度変調放射線治療（IMRT）と呼ばれる技術で、眼や皮膚を避けることができます。

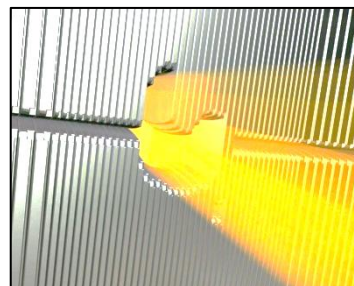


## ○脳腫瘍に対する定位手術的照射（SRS）

MRIなどの画像診断が普及したことで、動物でも脳腫瘍が見つかるケースが増えています。脳腫瘍の摘出手術には、高い合併症のリスクが伴います。北大動物医療センターでは、より安全に脳腫瘍を治療するために、放射線のメスを用いた手術ともよばれる定位手術的照射（SRS）を実施しています。SRSでは、腫瘍組織に超高線量の放射線を一括で集中照射し、照射野内の腫瘍組織を死滅させる治療です。通常の放射線治療の様に、1回あたりが小線量になるように分割することではなく、1～3回の照射で治療が終了する、画期的な技術です。



← 大脳の一部に腫瘍ができてしまった症例です。白く写っている腫瘍によって脳が圧迫を受けて変形しているのがわかります。

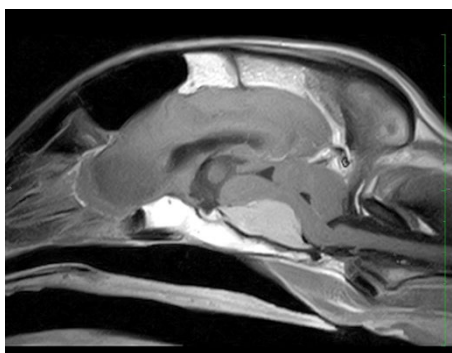


← 放射線治療では、金属の板を並べた形状のMLCと呼ばれる機械で、腫瘍の形に放射線のビームを絞ります。

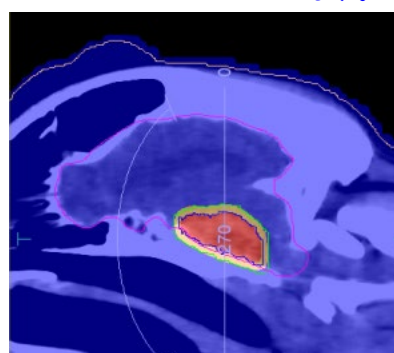
ボールペンと比べてみると、一枚一枚の金属リーフの薄さと照射野の小ささがよくわかります。



← 脳のSRSでは、より線量集中性を高めるために、特殊なMLCを用いて、腫瘍の形状に放射線を絞り込みます。



← このような、いびつな形をした脳腫瘍でも、腫瘍の形通りに放射線を集中させることができます。



## ○骨腫瘍に対する定位手術的照射（SRS）

四肢の骨に腫瘍ができた場合、従来は断脚術が余儀なくされましたが、上記のSRSの技術を応用し、患肢を温存したまま、骨の腫瘍化した部分だけに高線量の放射線を照射する治療が可能となりました。これまでの断脚術に代わる新しい骨腫瘍の治療法として欧米で臨床応用され始めています。