

# 膵癌における最新の放射線 治療について

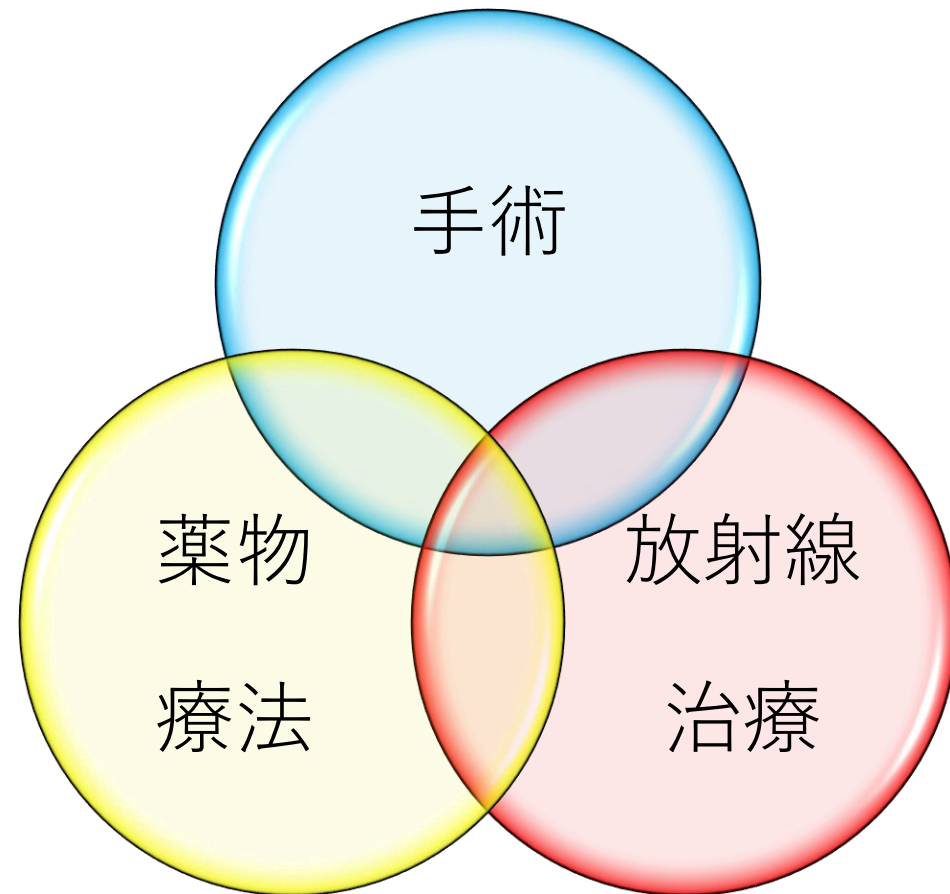
大阪大学医学部附属病院  
放射線治療科  
林 和彦



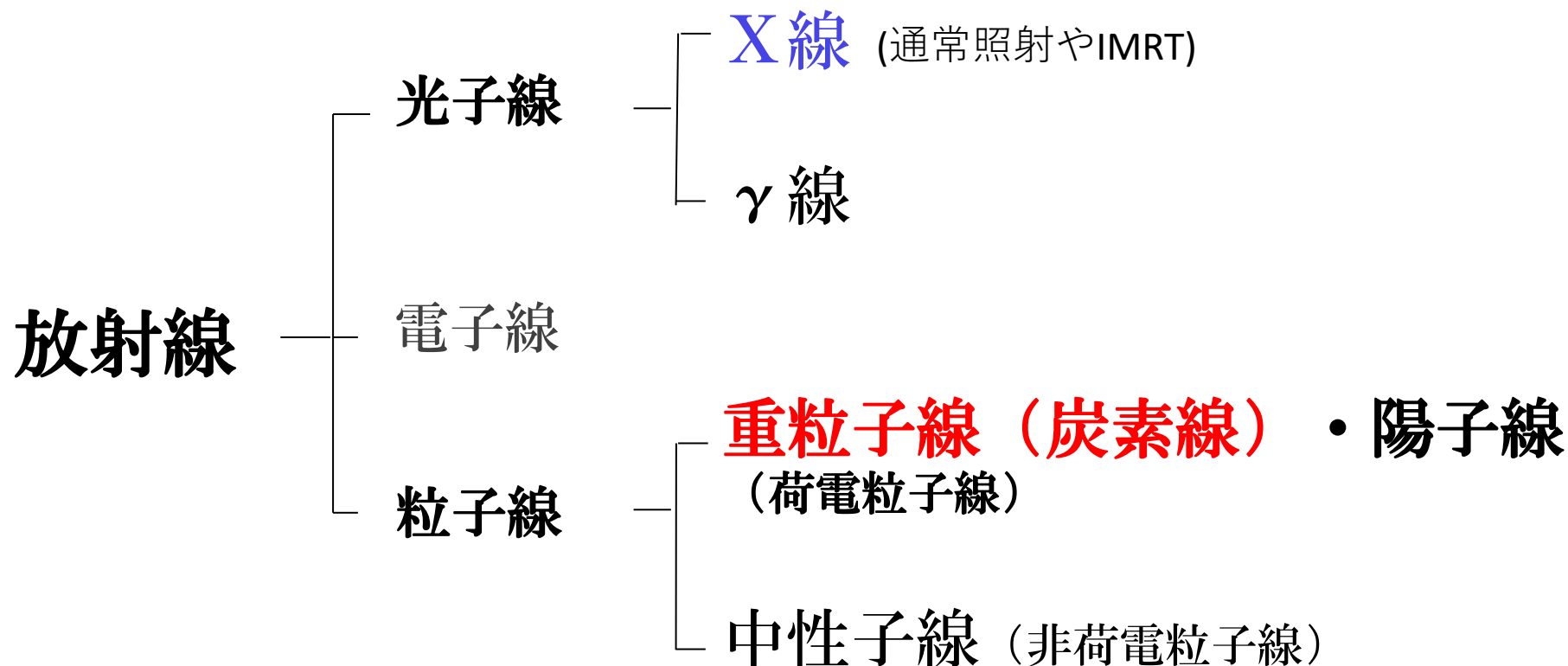
- 放射線治療について
- 強度変調放射線治療 (IMRT)
- 重粒子線治療

- 放射線治療について
- 強度変調放射線治療 (IMRT)
- 重粒子線治療

- ・放射線治療は手術療法や薬物療法と並ぶがん治療の3本柱の一つ。
- ・体への負担が少ないので外来での治療が可能。
- ・高齢の方やほかの病気によって手術が受けられない方にも治療可能なことが多い。



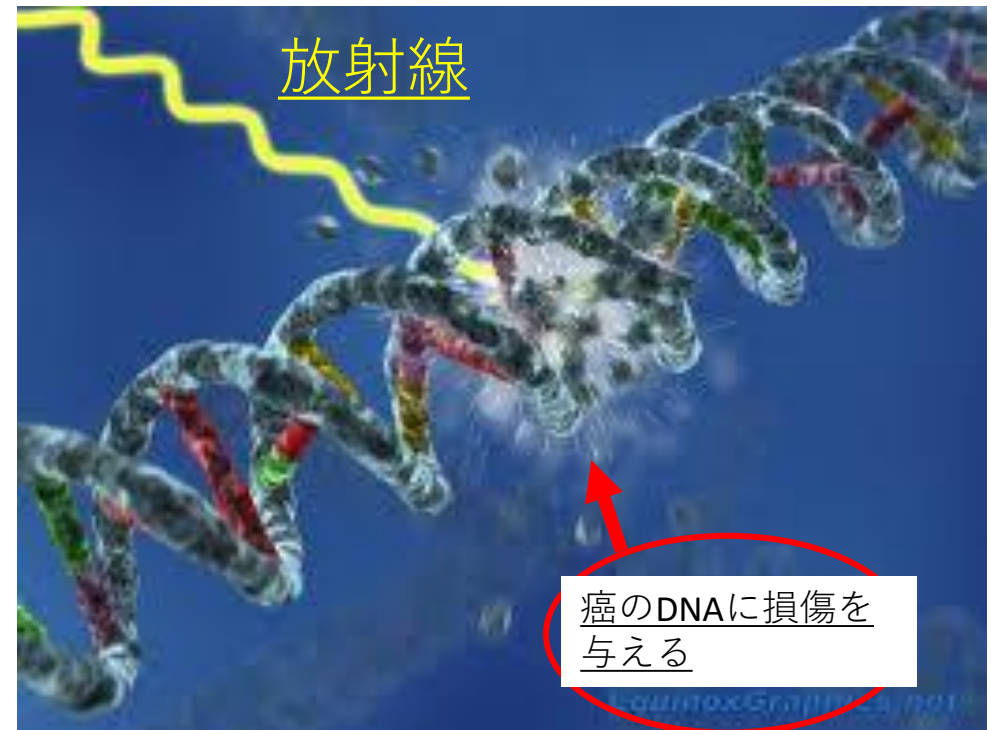
# 主な放射線の種類



# 放射線治療とは??

放射線とは、X線、重粒子線、陽子線などの放射線を用いて、**がんを安全かつ効果的に治療する方法**です。

放射線はがん細胞内の遺伝子(DNA)にダメージを与え、**がん細胞を壊します**。がん細胞は正常な細胞より放射線の影響を受けやすい。

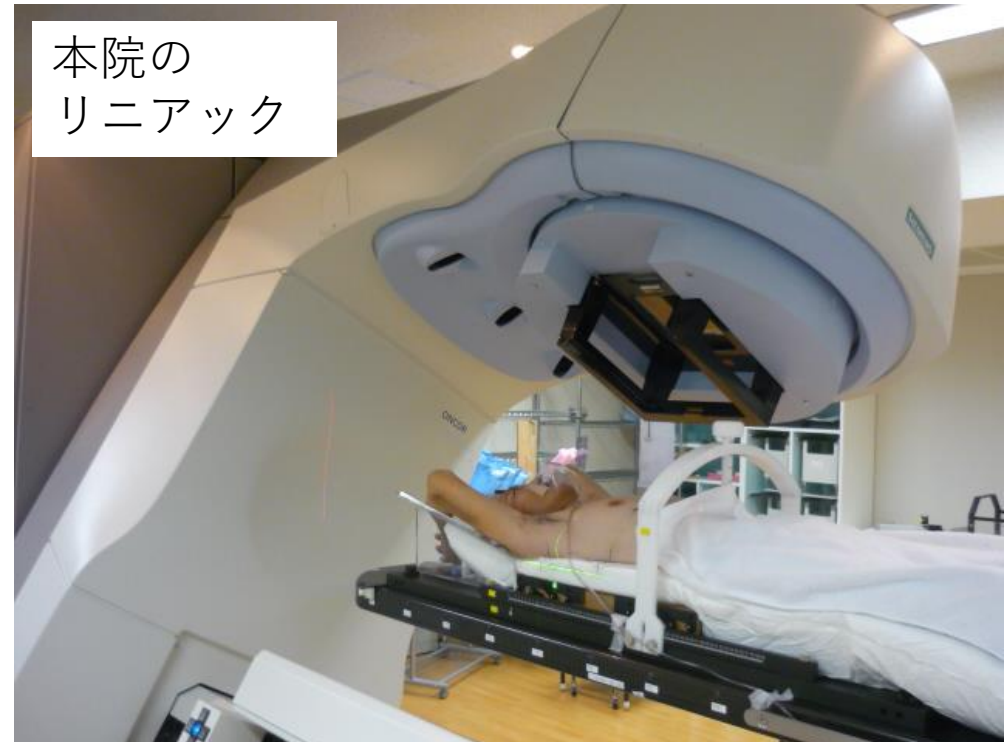


本講演では「放射線治療」というと基本的には「x線による放射線治療」を指します。

# 放射線治療装置とは？

- ・放射線治療の装置はいろいろな種類があるが、直線加速器（リニアック）が最も広く用いられている。

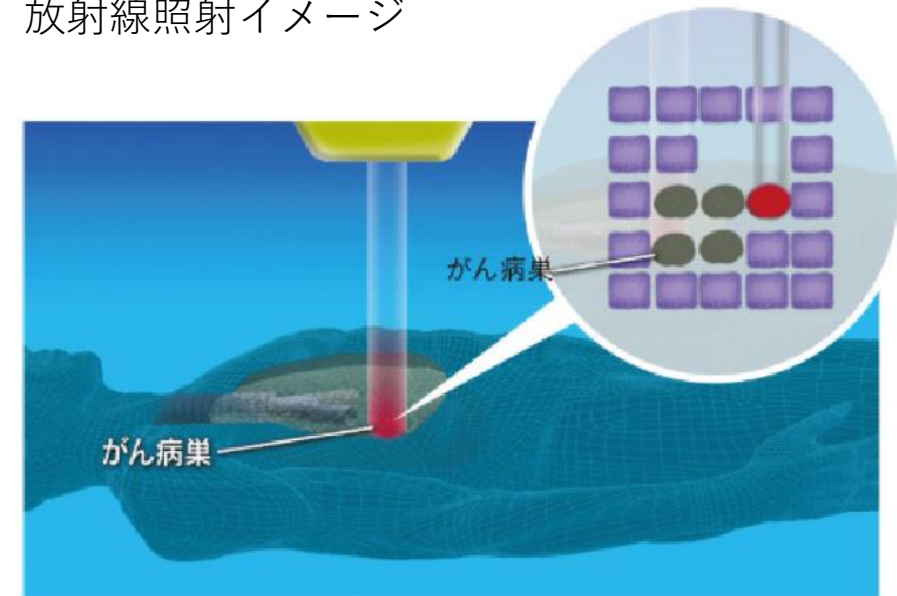
- ・治療は1日1回照射。1回あたり10分～20分程度の照射。  
それを25-30回程度の間、毎日くりかえす。



**放射線治療中に痛みや熱さはありません！**

- がん病巣には放射線をしっかり照射し、大事な組織（正常組織）にはできるだけ低い線量に抑える
- がん病巣への抗腫瘍効果を考えると1回線量が大きいほうがよい。しかし正常組織への障害を減らしたい場合、1回線量は小さいほどよい。

放射線照射イメージ



大阪重粒子線センターより提供

線量の集中性が重要



# 放射線治療の歴史

1895年 レントゲンが放射線（X線）を発見（図1）  
1899年には皮膚癌にX線をあてて治療を行った。



1910-50年代 高いエネルギーのX線発生装置が次々に開発（少しずつ体内の深部に治療が可能になった）



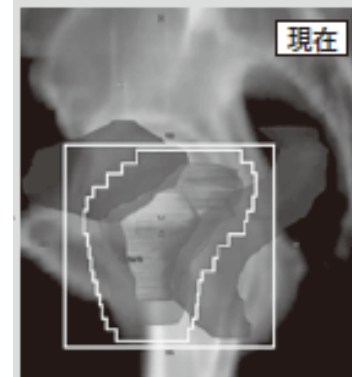
1953年 直線加速器（リニアック）の開発と臨床応用  
1965年に日本で初めて医用リニアック導入（図2）

2次元的な放射線治療技術が行われてきた。



## 3次元治療計画法や高精度な放射線照射が可能に！

- ▶ 1990年代 X線CTを用いて3次的に照射領域を設定し、線量分布を計算できるようになった。
- ▶ 1998年 リニアックとロボットアームを組み合わせた**サイバーナイフ®**が阪大病院にて日本で初めて治療を開始
- ▶ 2008年 前立腺癌などに対してリニアックによる**強度変調放射線治療 (IMRT)**が可能になった@阪大病院
- ▶ 2018年 大阪重粒子線センターが大阪市内にて開院
- ▶ 2022年4月より膵癌への重粒子線治療が保険収載された
- ▶ 2023年 IMRT専用機 (Radixact X9 ®) が当院に導入され、膵癌でもIMRTを開始した



- 病巣にあわせた照射野
- CTとコンピューターを利用
- 3次元治療計画



ピンポイント  
治療を達成す  
べく進化

# 放射線治療の種類の違い



	従来法による 通常照射	強度変調放射線治療 (IMRT)	重粒子線治療
線質	エックス線	エックス線	炭素線
照射回数 (1回の治療時間)	10-30回 (10分程度)	20-28回 (10-20分程度)	12回 (30-60分程度)
適応条件	制限なし (ただし副作用を考え適応を決める)	遠隔転移がない症例に限る	15cm以下
線量の集中性 (ピンポイント)	低	中	高
治療準備	簡便 (1-5日間)	最低5日間が必要 (治療計画作成と検証作業)	最低10日間が必要 (治療計画作成と検証作業)

より精密な治療になり、準備に時間がかかる

- ✓ 腫瘍が呼吸とともに動く
- ✓ 食事や排便状況によって膵臓が腫瘍ごといつでも動く
- ✓ CTやMRI、エコーでみられた腫瘍の周囲にがん細胞が微視的に浸潤していることが多い

- 手術前の化学療法併用放射線治療
- 手術不能な場合に化学療法併用放射線治療

ただし治療効果を考えると放射線治療が手術の代わりにはなりえない

# 膵癌の放射線治療で起きる可能性のある副作用



- 吐き気や嘔吐、食欲低下
- 消化管（胃、十二指腸、小腸や結腸など）の潰瘍や出血
- 腎機能の悪化
- 肝機能の悪化
- 皮膚炎

副作用の出現時期は放射線治療中～治療後1年以上たってから起こることもある。

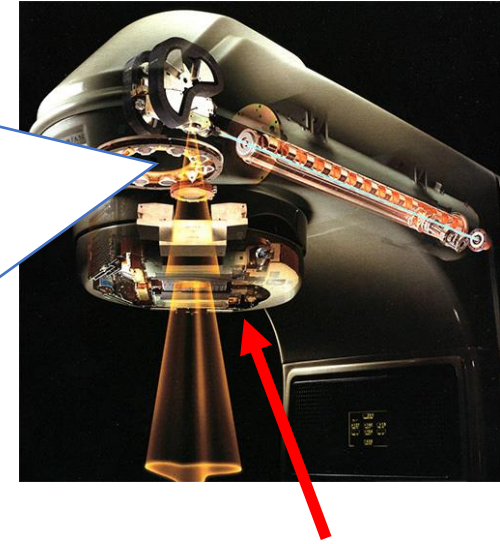
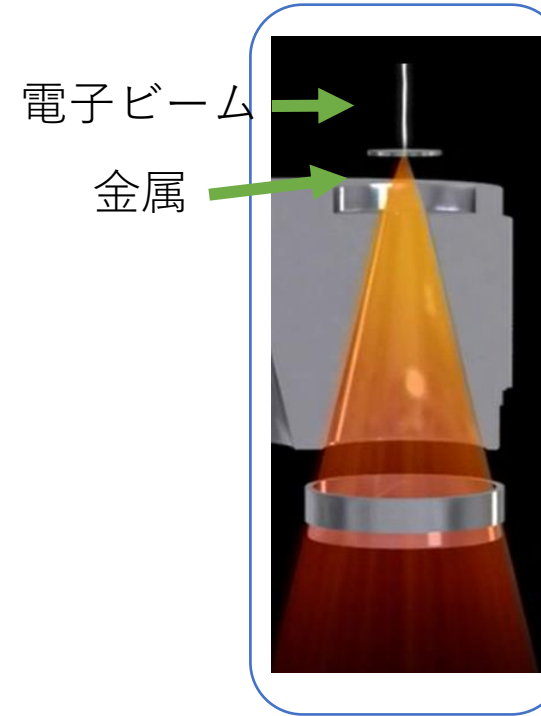
- 放射線治療について
- 強度変調放射線治療 (IMRT)
- 重粒子線治療

# 強度変調放射線治療（IMRT）とは？

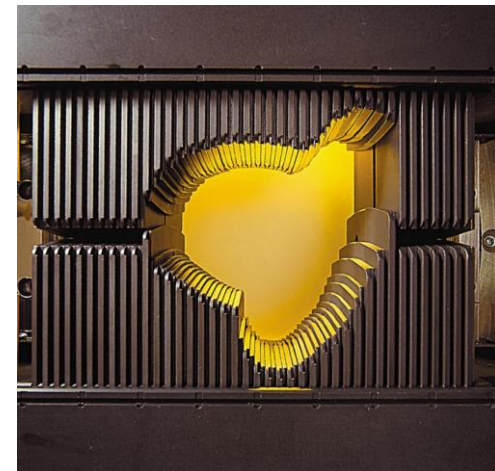
IMRTは、放射線の照射中に照射野内の放射線の強さに強弱をつけ、腫瘍に対して線量を集中させて照射を行うことができる方法と定義されている。

それによって腫瘍に高い線量の照射ができ（＝高い治療効果を達成できる）、かつ正常組織の線量はできるだけ低くする（＝副作用を最小限に抑える）ことができる。

上記を満たすときに保険診療となる。



マルチリーフコリメータ





# IMRTの治療対象

- ✓ 膵癌が消化管に浸潤していない。
- ✓ 遠隔転移がない。
- ✓ 30分程度の間、治療台の上でじっとしていることができる。

### Truebeam® (リニアック)

汎用機。最近のリニアックは通常照射もIMRTもどちらもできる。

### Radixact X9®

トモセラピーという独自の照射法を用いたIMRTの専門機器。線量の集中性がより高い。

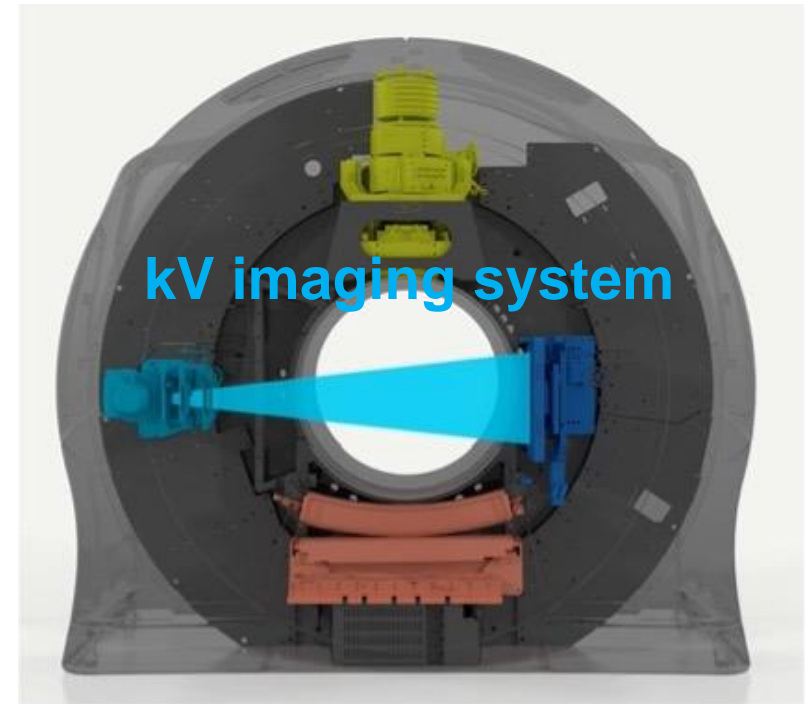
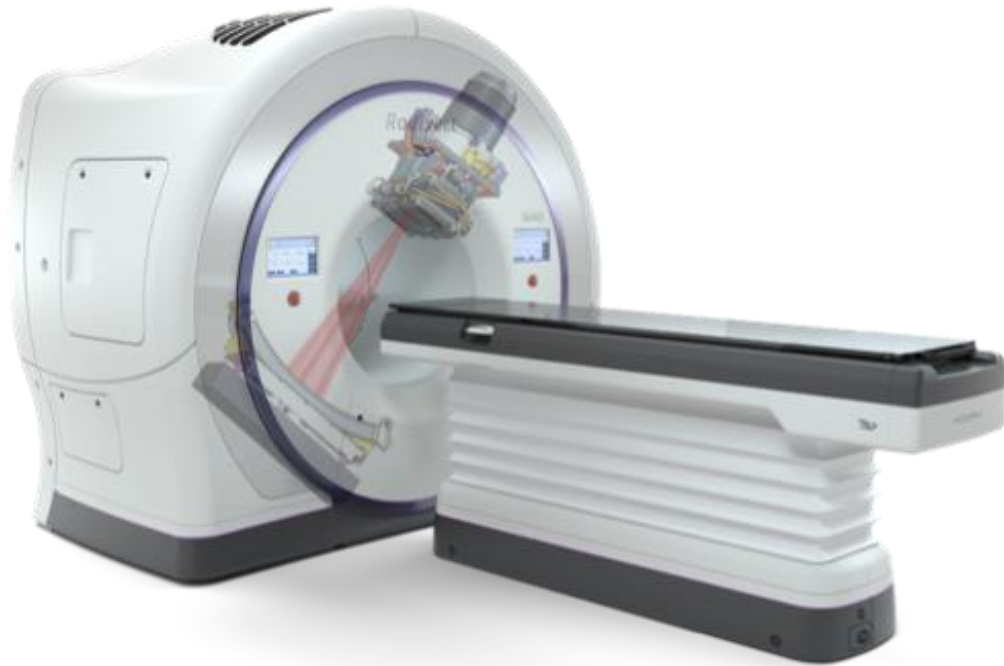
また呼吸などによる病変の動きを追尾して照射することも可能。

\* どちらの装置でも膵癌にたいするIMRTが可能



### Radixact X9®





高画質のCT画像を撮りながら、放射線を照射できる。

# 放射線治療の流れ

- 初診：放射線治療医による適応と線量分割の決定 (医師)
- 固定具と敷き物の作成 (技師)
- 治療計画CTの撮影 (医師・技師)
- 治療計画の作成(約5日) (医師・物理士)
- 治療準備(検証実験) (技師・物理士)
- 治療開始日(線量校正、位置合わせ、治療) (技師)

最低1週間  
はかかる

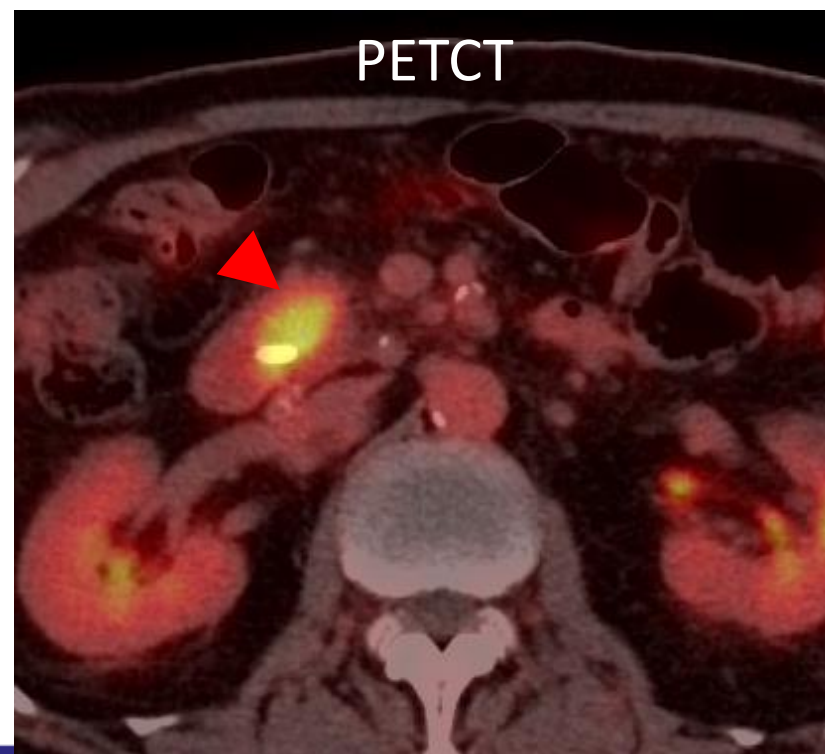
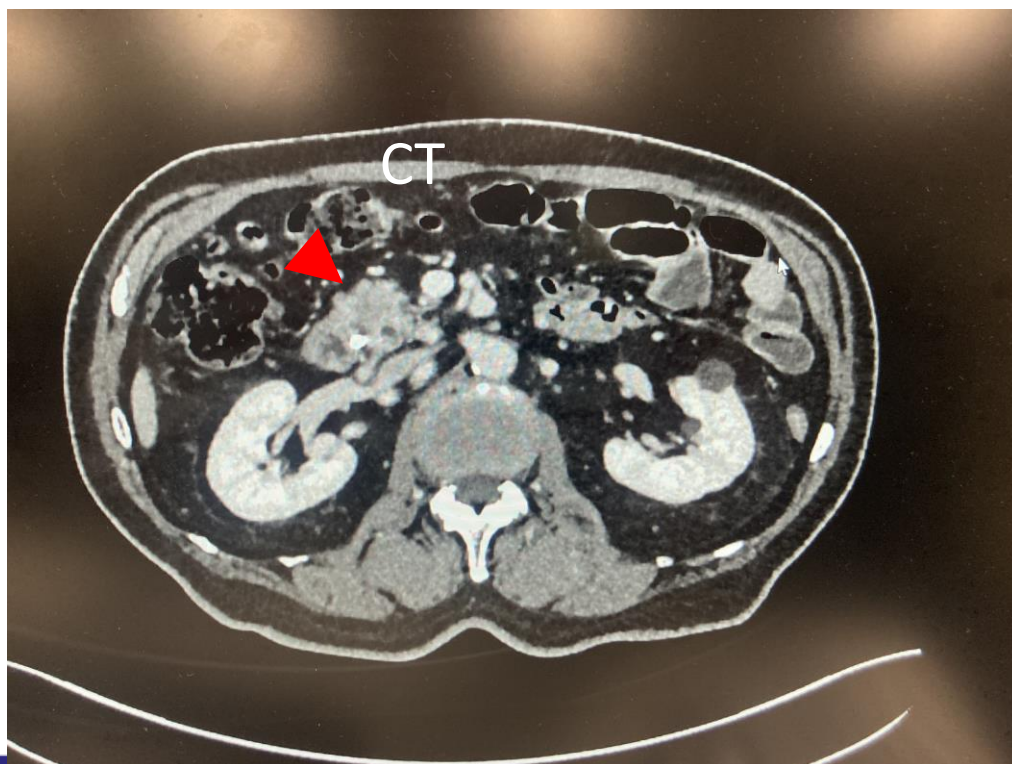


# 症例紹介 70代 男性



## [現病歴]

- 灰白色便, 褐色尿, 皮膚掻痒感を認め, 近医にて肝機能障害を指摘。
- 本院で**膵頭部癌 (Stage IIA, cT3N0M0)** と診断し, 術前化学放射線療法+手術の方針となった。
- 膵頭部癌に対し, 抗がん剤併用で**IMRT 50.4 Gy/28 回/6週間**をおこなった。



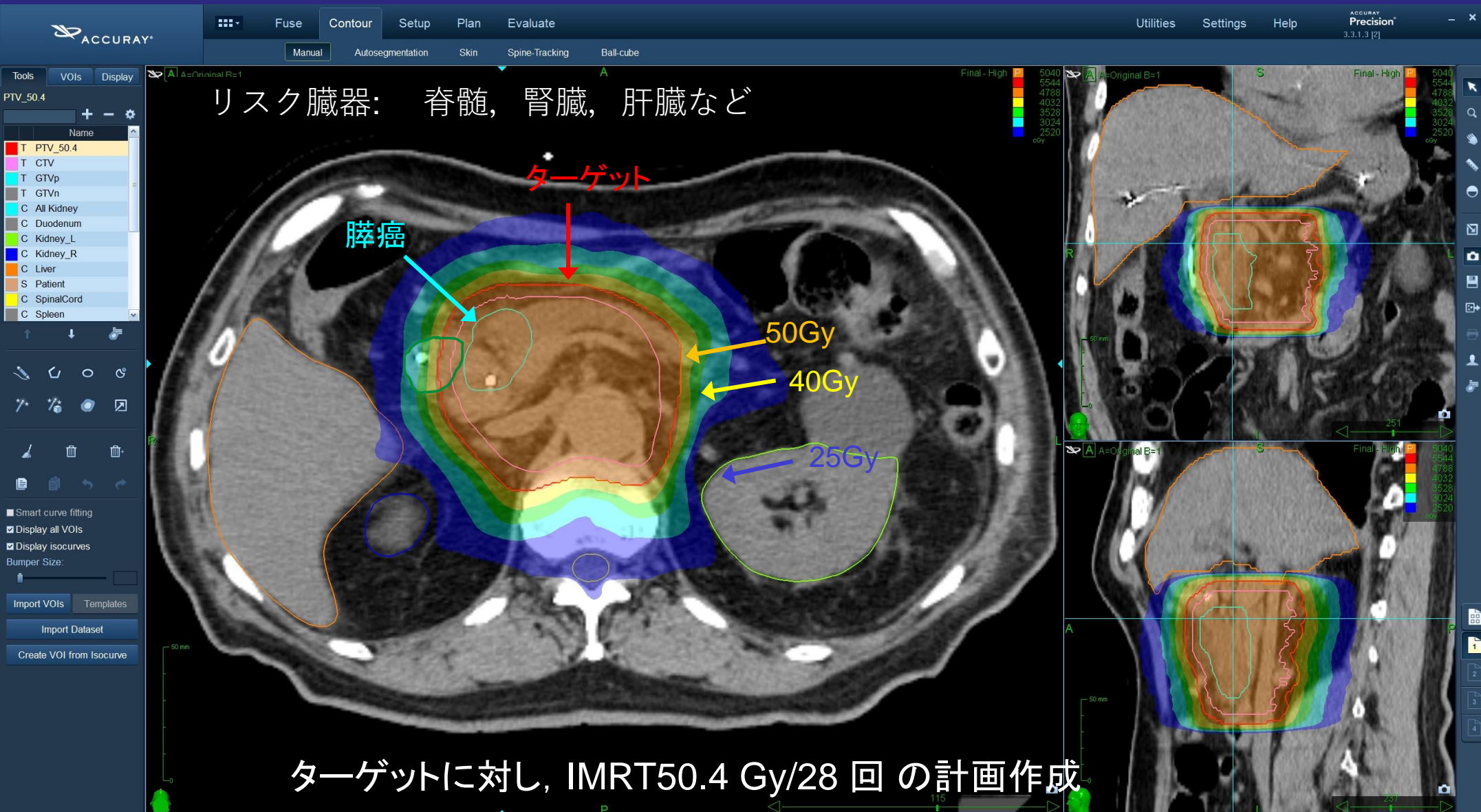
# 治療計画CT撮影後にターゲットを設定



The screenshot displays the Accuray Precision software interface for radiation therapy planning. The main window shows an axial CT scan of the abdomen with several contours overlaid. A red contour represents the target (PTV), and a pink contour represents the prophylactic lymph node region. Other contours include the pancreas (blue), duodenum (cyan), kidneys (green), liver (orange), and spine (yellow). The text '予防的リンパ節領域' (Prophylactic lymph node region) is written in pink, '膵癌' (Pancreatic cancer) in blue, '十二指腸' (Duodenum) in cyan, 'ターゲット (PTV)' (Target (PTV)) in red, '肝臓' (Liver) in orange, '腎臓' (Kidney) in green, and '脊椎' (Spine) in yellow. The software interface includes a menu bar (Fuse, Contour, Setup, Plan, Evaluate), a toolbar (Manual, Autosegmentation, Skin, Spine-Tracking, Ball-cube), and a VOI list on the left. The VOI list includes: PTV\_50.4 (red), CTV (pink), GTVp (cyan), GTVn (blue), All Kidney (green), Duodenum (cyan), Kidney\_L (green), Kidney\_R (green), Liver (orange), Patient (blue), SpinalCord (yellow), and Spleen (blue). The bottom of the screen features a text box with the following text:

リスク臓器: 消化管 (十二指腸や胃、小腸、大腸など), 脊椎, 腎臓, 肝臓など

# 治療計画の作成

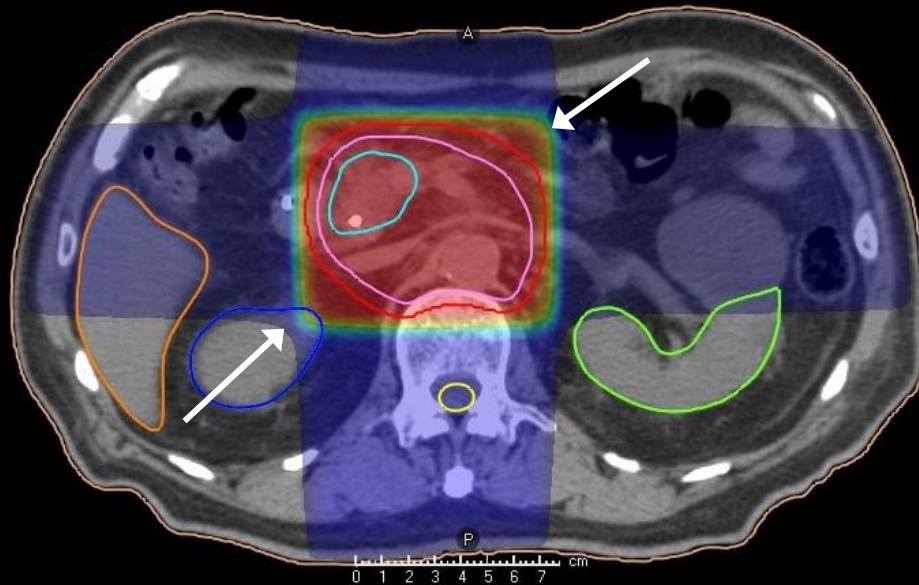


# 従来法とIMRTの線量分布比較

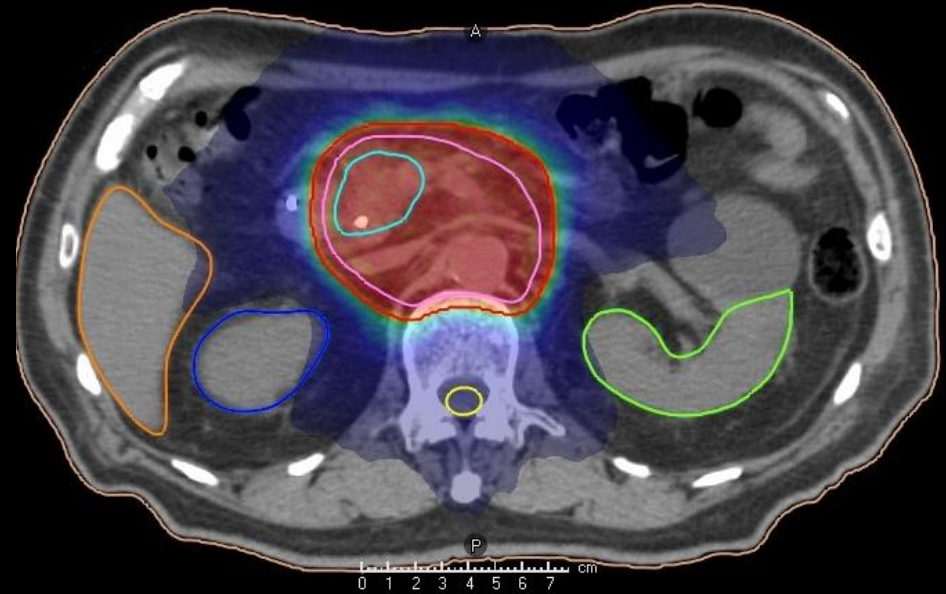


## 膵臓癌

リニアックによる従来法



トモセラピーによるIMRT  
(Radixact X9®)



IMRTはターゲットに対する線量の集中性・均一性に優れ、中線量の広がりも少ない  
つまり放射線治療による副作用も少なくなる



IMRTの治療計画を作成したら、照射の際により正確に照射する必要がある

1.



吸引式固定具 (Vac-Lok)

2.



熱可塑性固定具 (シェル)

体表面のマーキングでセットアップ

3.



4.

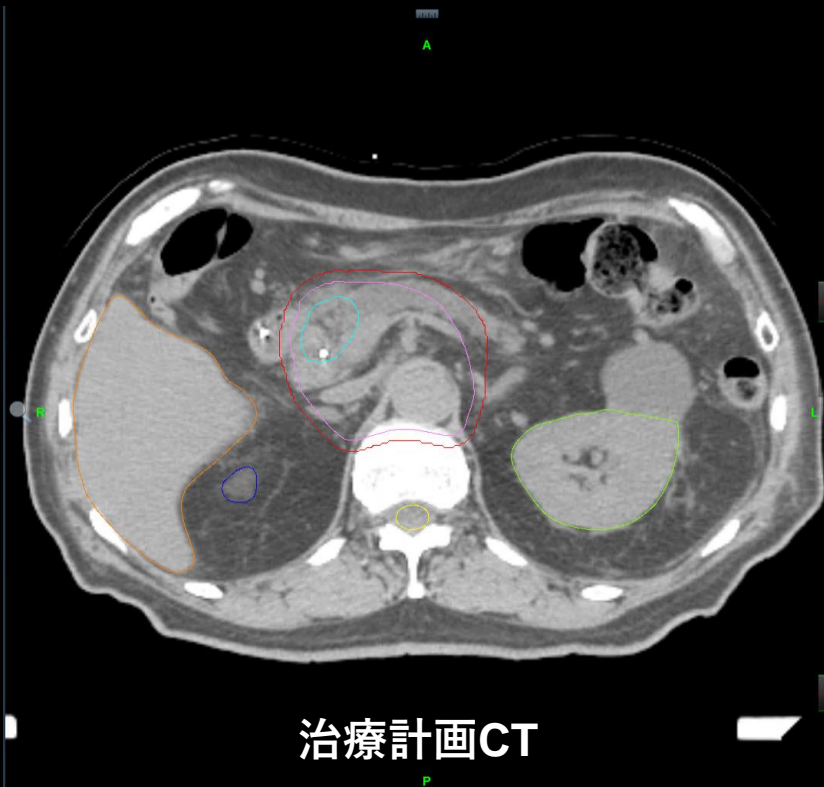


照射前に簡易CTをとり、画像照合します。

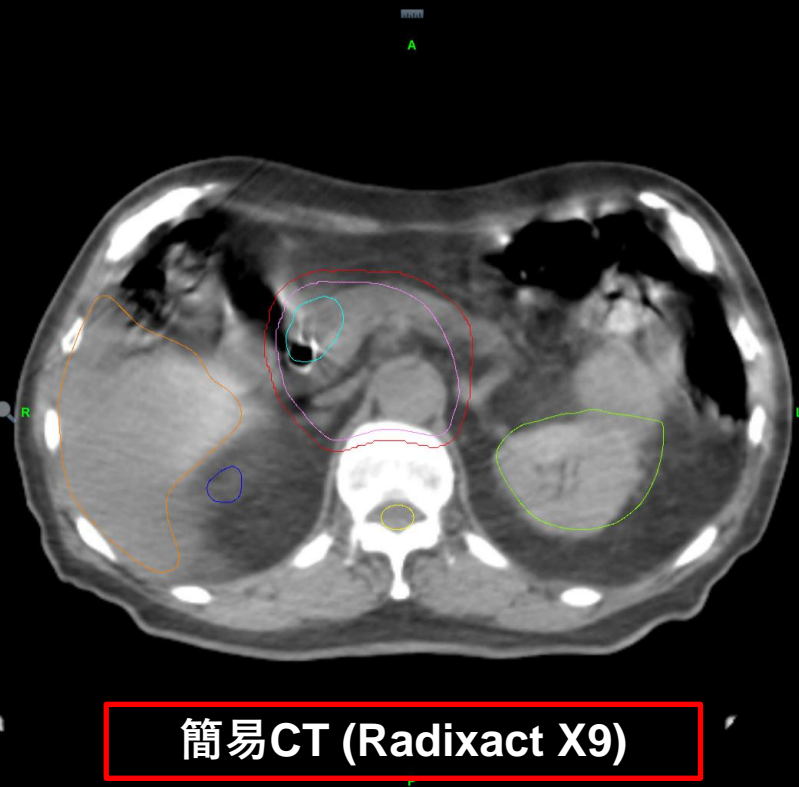
# Radixact X9®の簡易CT(ClearRT)の画質



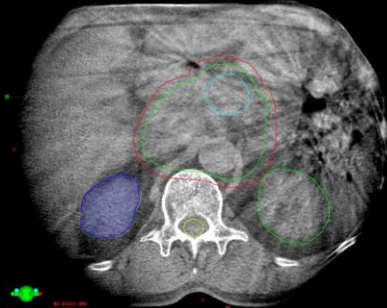
膵臓癌



治療計画CT



簡易CT (Radixact X9)



簡易CT  
(リニアック)

Radixact X9は照射前にきれいで鮮明な画像を撮ることができる

# 治療計画と照射時の体のずれを補正する



Orientation  Axial  Coronal  Sagittal

Fraction: 2 Treatment Date: 04 Apr 2023, 01:11:15 PM

Automatic Registration  
Bone Technique:   
Super Fine Resolution:   
Translations+Roll:   
 Incomplete Field of View  
Start

Balance  
 Plan  Scan  
Checker  
 On  
Image Filter  
None  High

Translational Adjustments IECf (mm)  
Lateral: 1.6 Longitudinal: -2.2 Vertical: -5.3 [Reset]

Rotational Adjustments (degrees)  
Pitch: 0.0 Roll: 0.1 Yaw: 0.0 [Reset]

Translational Adjustments IECf (mm)  
Lateral: 1.6 Longitudinal: -2.2 Vertical: -5.3 [Reset]

Rotational Adjustments (degrees)  
Pitch: 0.0 Roll: 0.1 Yaw: 0.0 [Reset]

Adjustments  
 Accepted  Actual  
[Approve Registration]

Dose Normalization Method  
 Relative  Absolute  
Reference Dose  
 Prescription  Maximum: 5,040 cGy

Display  
 Lasers  
 Isodose  
 Wash

Display	cGy	%	Thickness
P	0	100.0	1
P	0	110.0	1
P	0	107.0	1
P	0	105.0	1
P	0	95.0	3
P	0	90.0	1
P	0	85.0	1
P	0	80.0	1

Roll

体が治療計画と何mm、あるいは何度ずれているか

# 先ほど提示した膵癌症例の放射線治療後経過



IMRT50.4Gy/28回/6週間施行

腫瘍は縮小

手術

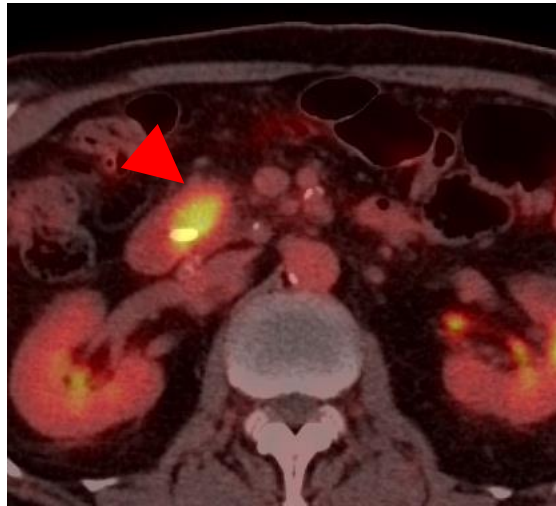
半年間抗癌剤を内服

治療前

治療後2週間  
腫瘍のPET集積は低下

放射線治療後  
1ヶ月

放射線治療後  
8ヶ月

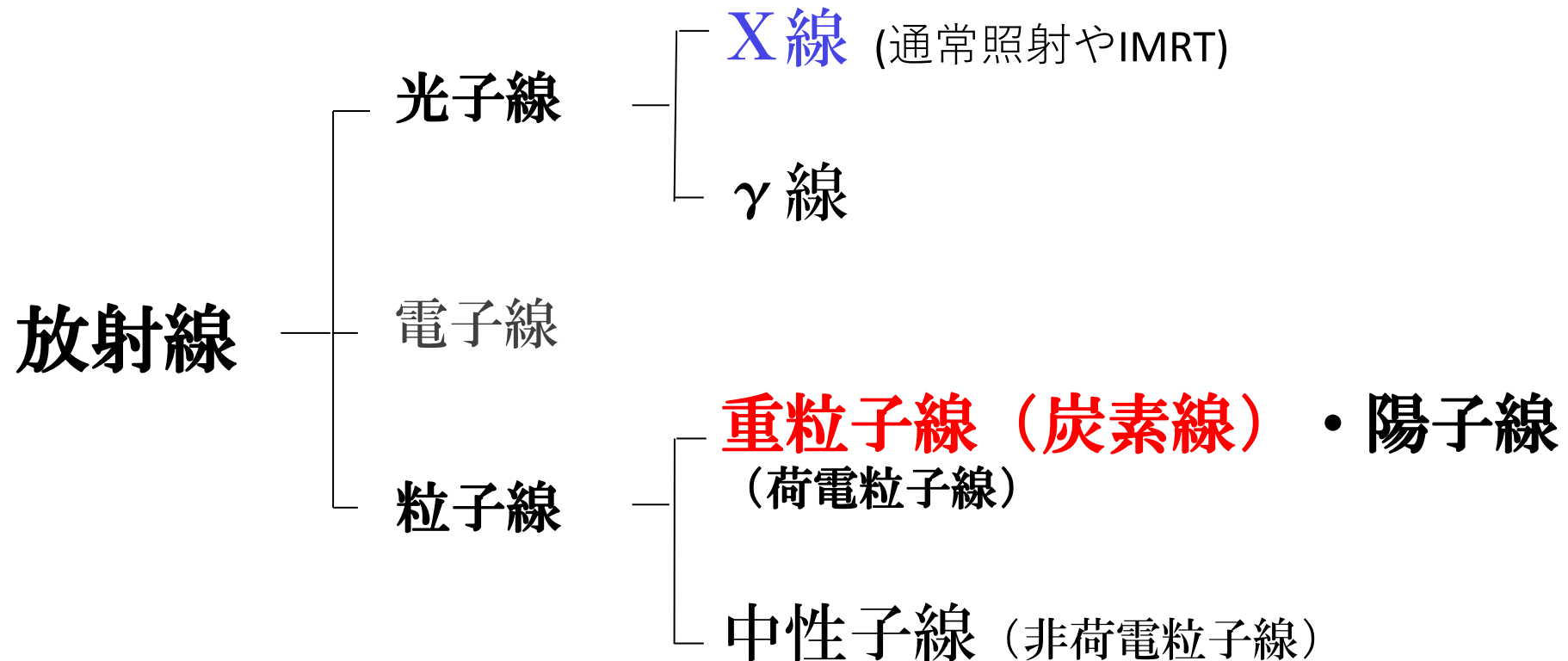


癌の再発なくお元気に通院されています

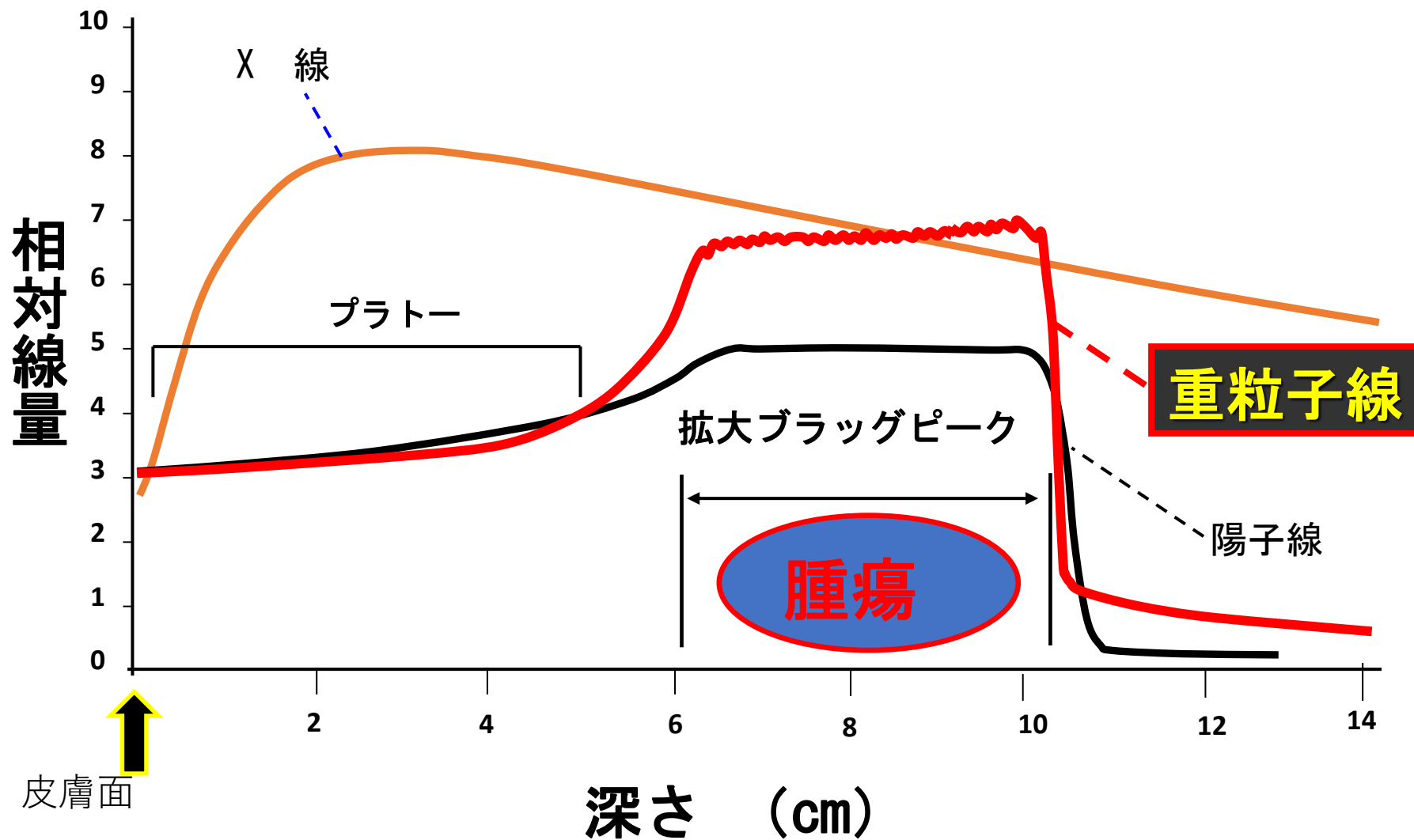
放射線治療による副作用を認めず、治療完遂し、翌日退院

- 放射線治療について
- 強度変調放射線治療 (IMRT)
- 重粒子線治療**

# 主な放射線の種類



# 各種放射線の線量分布曲線

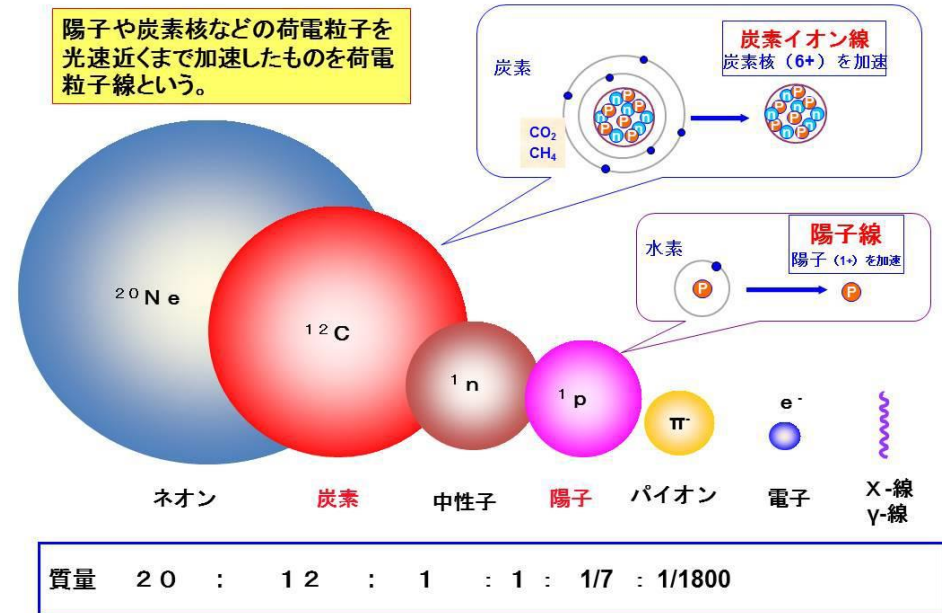


# 重粒子線治療の特徴

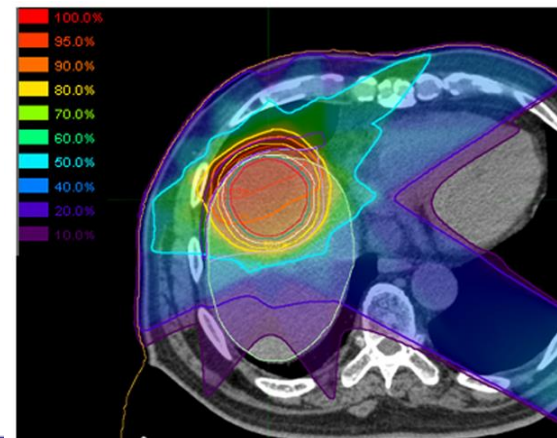


・エックス線や陽子線に比べて、殺腫瘍効果がやや高い。

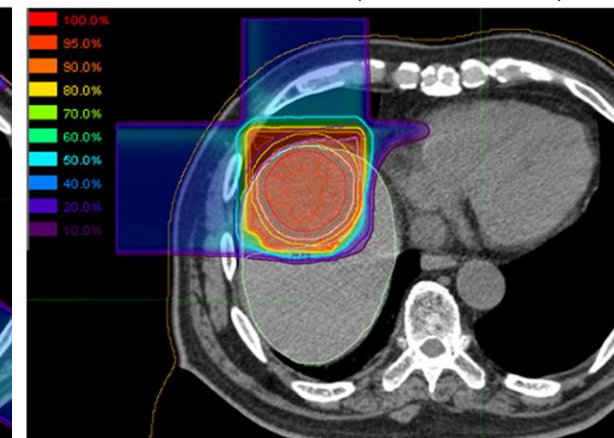
・線量集中性がよい。（とくに中低線量域）



X線



炭素線（重粒子線）





西方向



## 大阪重粒子線センター



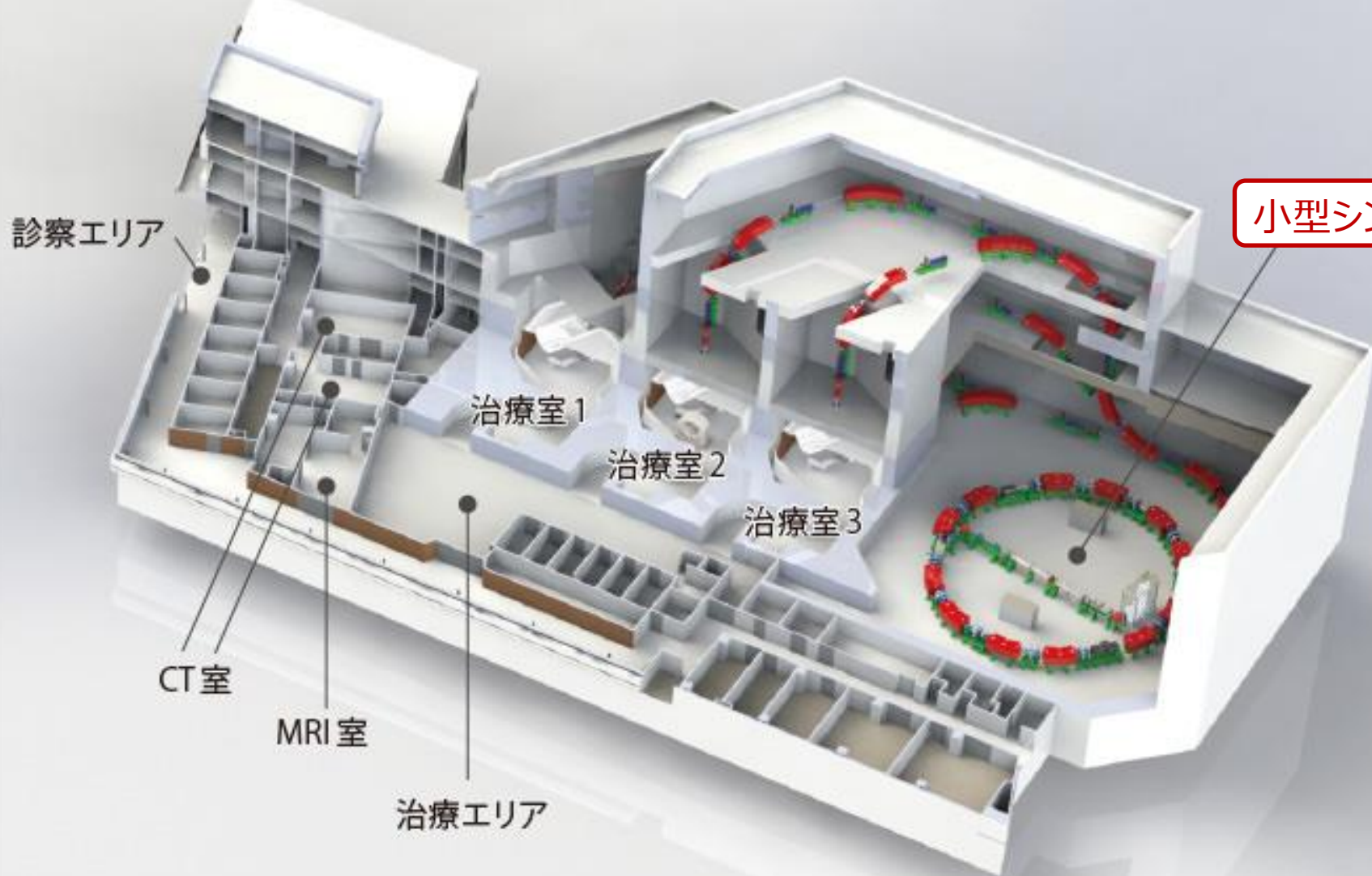
大阪大学医学部附属病院  
放射線治療学教室の関連施設

日本では6施設目。現在は7施設がある。



## <主な仕様・特徴>

- ・3室6ポート 全室スキャンング
- ・小型シンクロトロン (周長 約56m、直径 約17m)
- ・炭素線 140~430MeV/u



小型シンクロトロン

# 加速器室



加速器室 (シンクロトロン)



水平ビーム輸送ライン



垂直ビーム輸送ライン

X線透視装置

・位置合わせに用いる

ノズル回転装置

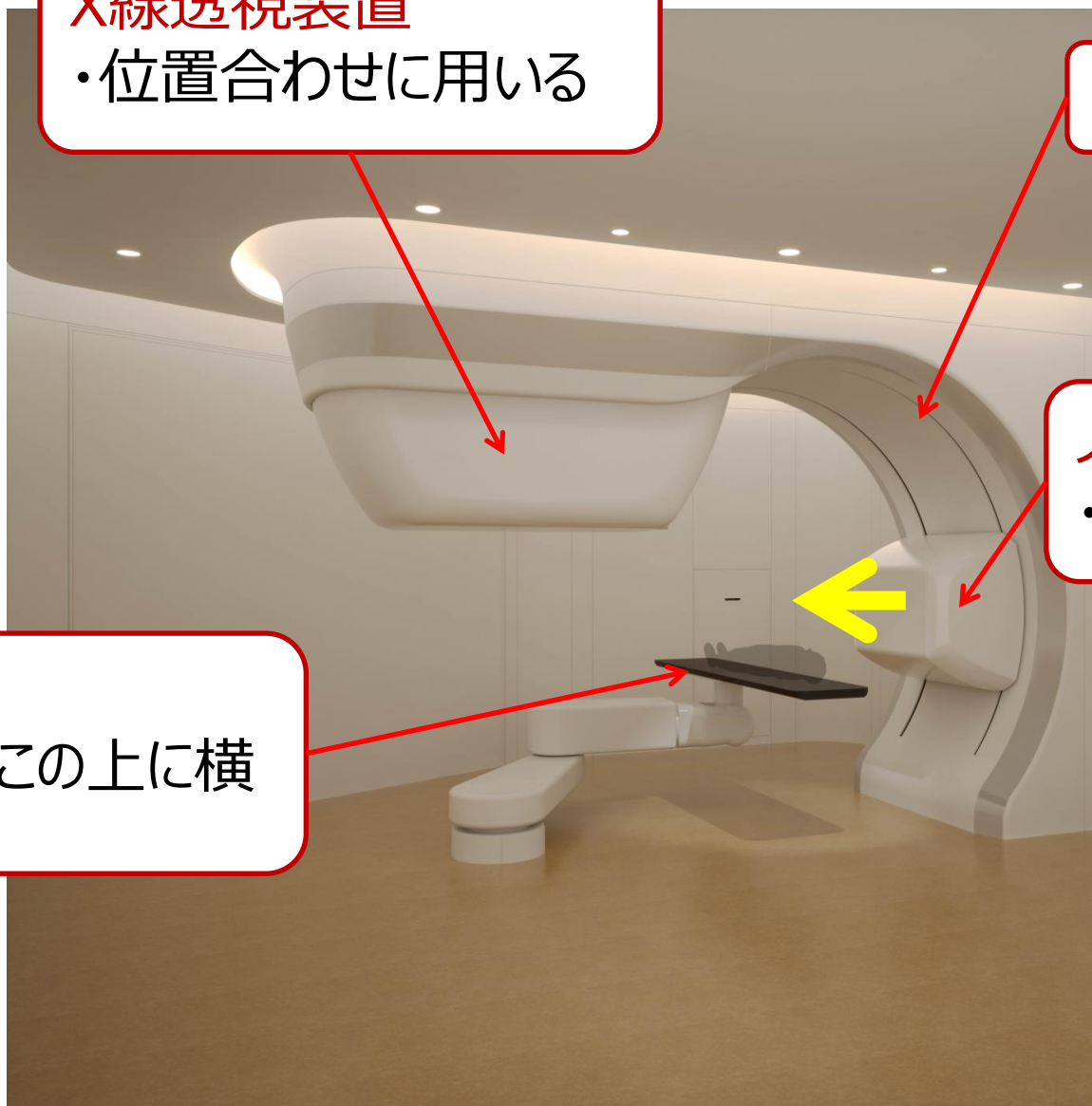
ノズル

・粒子線が出る

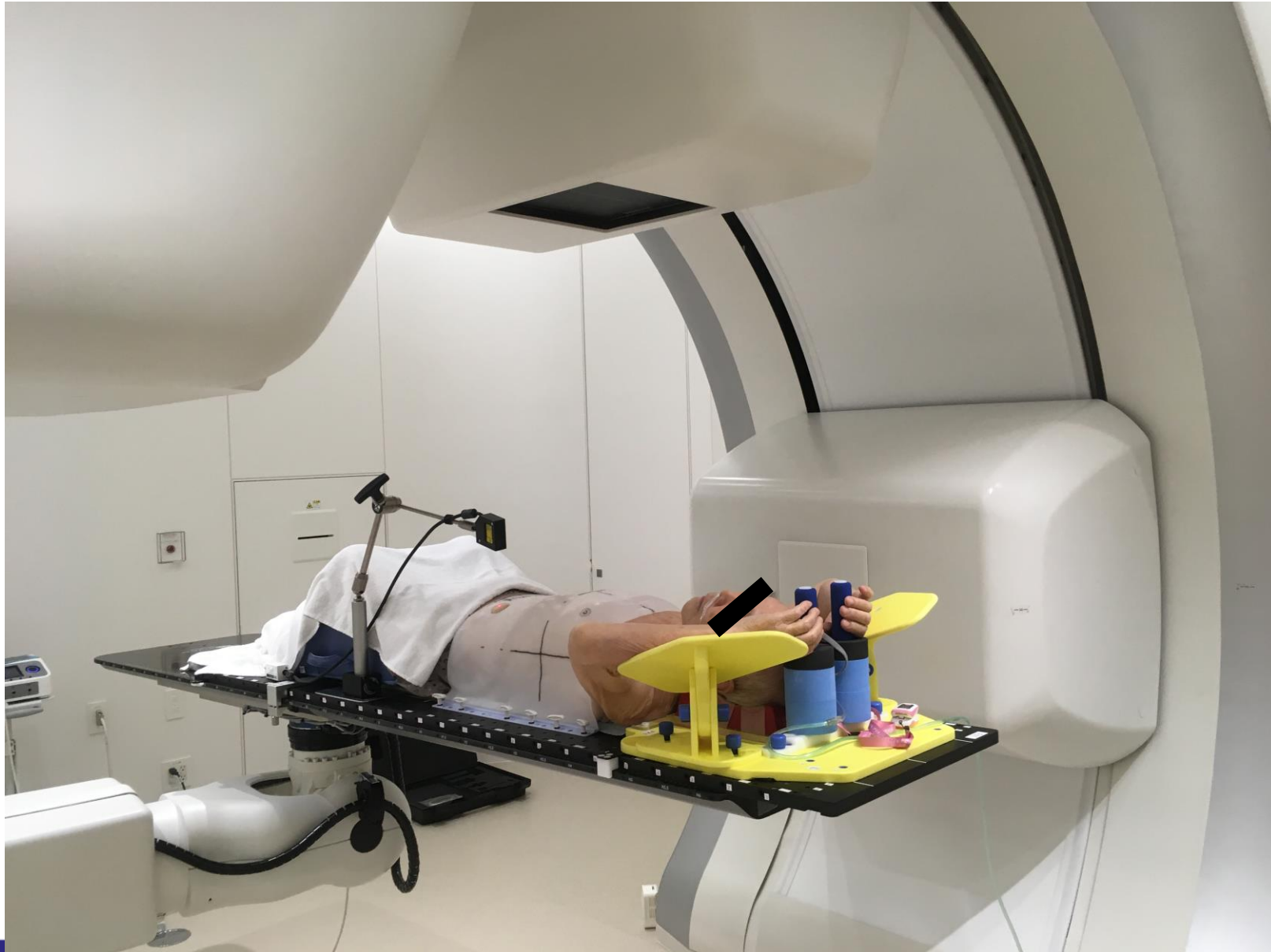
ロボットカウチ

・治療の際、この上に横になる

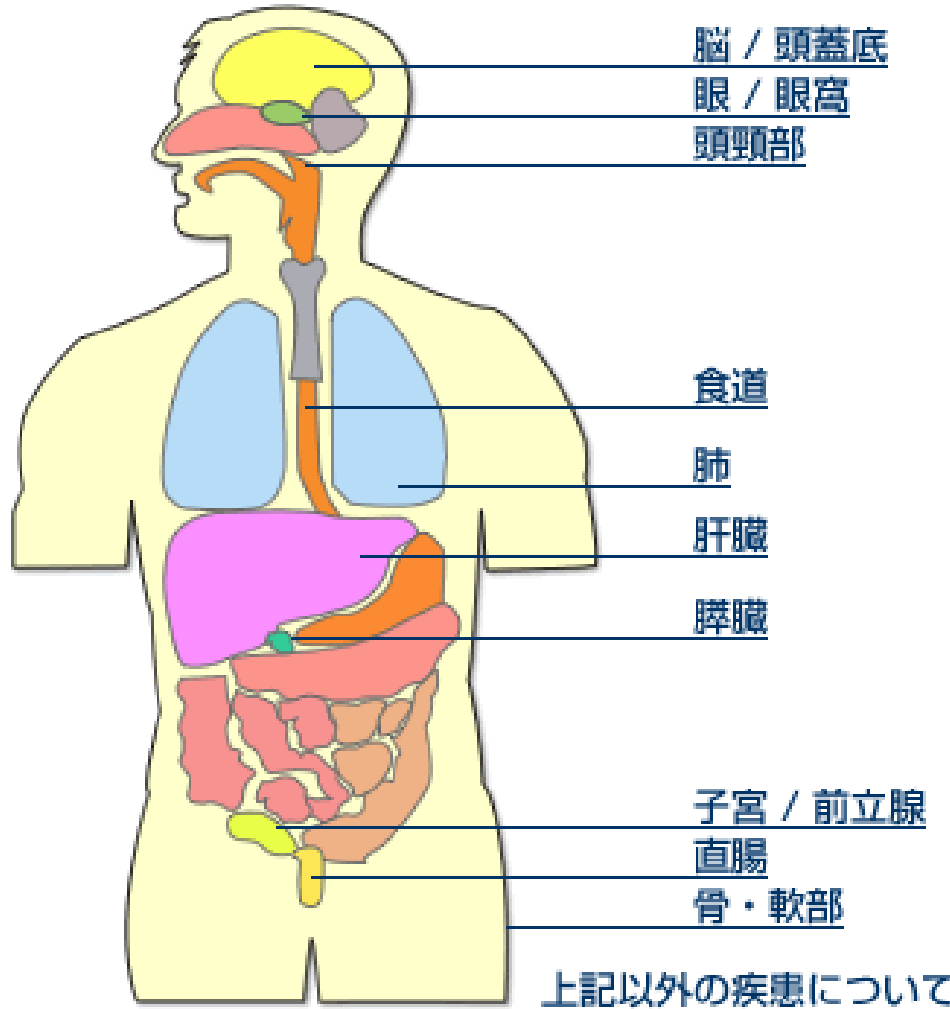
治療中痛みも熱さも感じない



# 照射シーン



# 重粒子線治療の主な対象疾患（保険診療と先進医療）



## 頭頸部癌

肺癌・肺転移

食道癌

肝細胞癌・肝内胆管癌・肝転移

## 膵臓癌

直腸癌術後骨盤内再発

切除非適応骨軟部肉腫

子宮頸癌

前立腺癌

リンパ節転移

黄色は  
保険診療

- ◆ 腫瘍が消化管に近接していない
- ◆ 遠隔転移がない（Ⅰ-Ⅲ期まで）
- ◆ 手術が困難である場合
- ◆ 30分以上治療台の上でじっとしていることができる。
- ◆ 胆管狭窄に対して金属ステントが挿入されていない

ここがエックス線による放射線治療と異なる

- ・放射線治療の場合と同様の治療準備（固定具作成や治療計画CT撮影、治療計画作成など）を行う。
- ・できれば抗がん剤を併用して重粒子線治療  
55.4Gy(RBE)/12回/3週間の外来通院治療を行う  
（膵癌を診断した消化器内科あるいは消化器外科の先生の下承のもと）



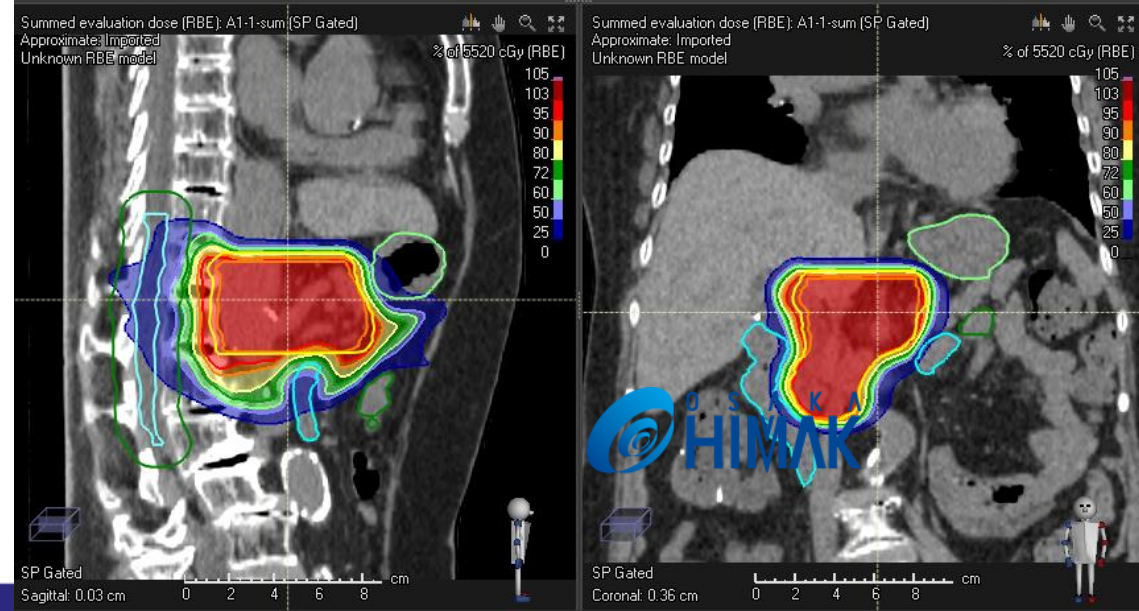
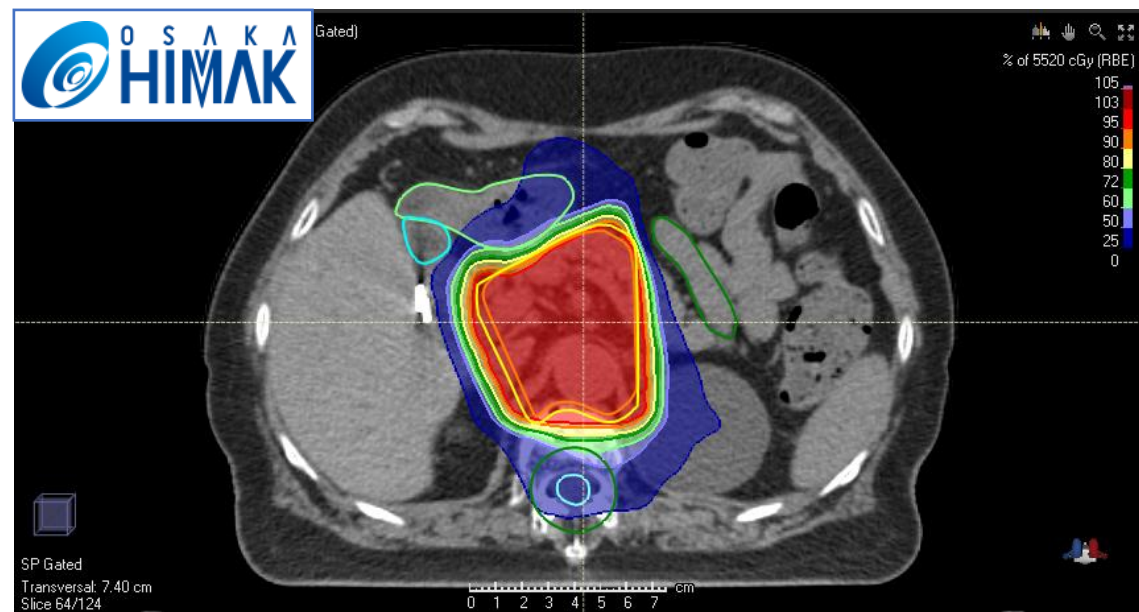
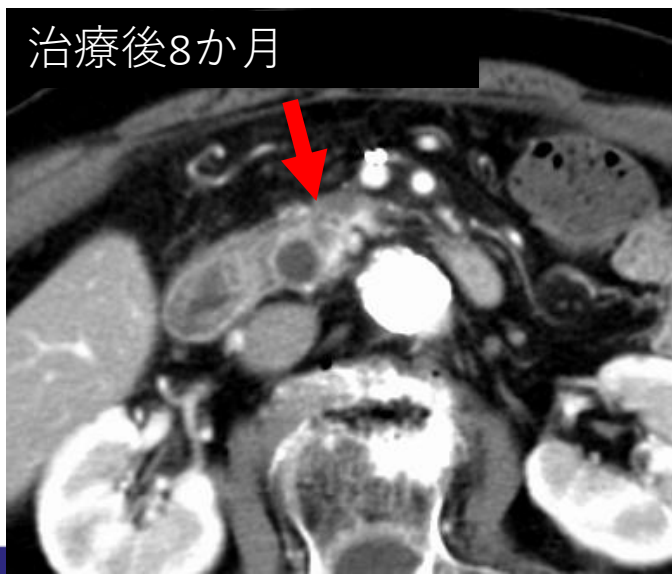
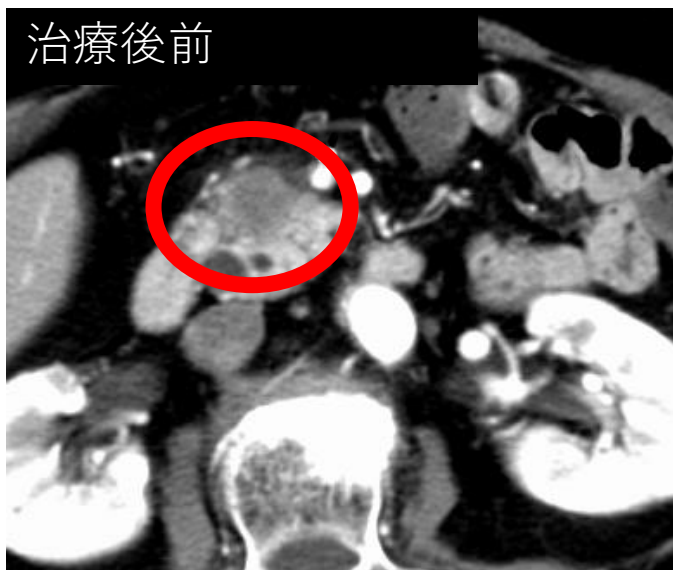
## 早期(治療開始～3ヶ月)

- ・消化管の炎症、潰瘍
- ・肝機能の悪化
- ・腎機能の低下

## 晩期(半年以上)

- ・消化管出血
- ・胆管狭窄

# 大阪重粒子線センターの症例



- 化学療法が主体として治療がなされている
- ここに重粒子線治療を追加することで、局所の制御を高め、その上で生存に寄与するものと考えている
- 特に重粒子線治療は副作用が少なく、化学療法中でもスムーズに治療に移行できると考えている

- ◆ X線による放射線治療（IMRTなど）と重粒子線治療を比較した臨床試験は行われておらず、どちらが優れた治療法かは明らかでない。
- ◆ どちらの治療法も各々で治療成績をまとめた報告や論文は多数あり、どちらも保険に収載された良い治療法である。
- ◆ 重粒子線治療施設は日本に7か所のみ、世界でもまだ10-20か所程度しかなく、まだまだ未知のことも多い。



# 費用（概算）



	通常照射	IMRT	重粒子線治療
治療回数（おおよそ）	28回	28回	12回
費用	約65万円	約105万円	約280万円
3割負担	約20万円	約32万円	約84万円
1割負担	約7万円	約11万円	約28万円

- ・ 高額療養制度の対象なのでさらに負担が少なくなることがおおい
- ・ 高額療養制度を用いれば、IMRTも重粒子線治療も患者負担はあまり変わらない

- ・ 膵癌に対する放射線治療には通常照射やIMRT、重粒子線治療といった種類がある
- ・ 本院では膵癌に対してほぼ全例でIMRTを施行し、副作用のより少ない治療を行っている
- ・ エックス線と重粒子線を比較した臨床試験はなく、優劣はまだ明らかでない
- ・ 放射線治療は手術の代わりにはなりえない