



バイオメディカル情報工学

第2部 生体情報技術入門

第4章 治療技術

第2節 ESWL、MRIgFUS、ガンマーナイフ

生体情報学講座
陳 文西

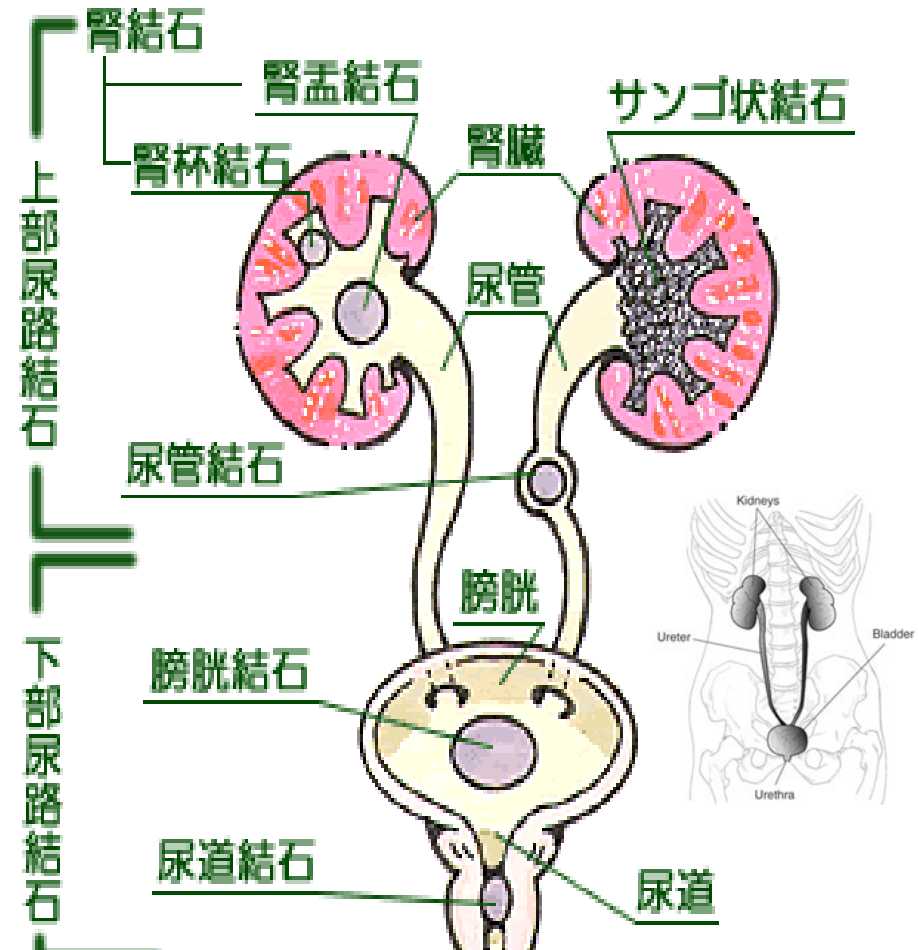
主な手術・治療機器

分類	名称	主たる目的	関連する物理エネルギー
手術機器	電気メス レーザーメス 超音波メス マイクロ波メス アクアジェットメス (ウォータージェットメス) 冷凍メス 電動形ダーマトーム 麻酔機器 手術台 无影灯 吸引器 滅菌機器	切開・止血 切開・止血 切開 止血・凝固 切開 組織破壊 採皮 全身麻酔 体位保持 照明 血液などの吸引 滅菌	電気 (高周波) 光 (レーザー) 音響 (超音波) 電気 (マイクロ波) 力学 (水圧) 熱 (低温) — — — 光 — 熱, 圧力, 放射線
治療機器	心臓ペースメーカー 除細動装置 人工心肺 血液透析装置 結石破碎装置	心筋活動の誘発 心筋活動の同期 ガス交換・血液循環 血液浄化 結石破碎	電気 (低周波) 電気 (低周波) — — 各種 (最終的には力学エネルギー)
	MRIガイド集束超音波手術 MRI-guided Focused Ultrasound Surgery (MRIgFUS) ガンマーナイフ Gamma Knife MIS, LESS, NOTES		

尿路結石Kidney Stones

- 腎臓で作られた尿は、尿管という細い管を通り膀胱に一旦貯められ、更に尿道を通して体外に排出
- この尿の中の成分が固まって石になり、この尿の通り道のどこかで詰まり激しい痛みや血尿などを生じるのが尿路結石
- 結石の貯まる位置により腎結石、尿管結石、膀胱結石と分類

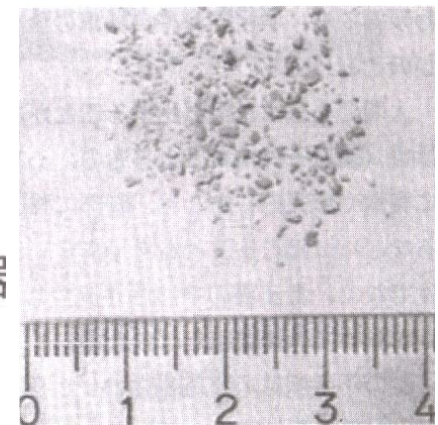
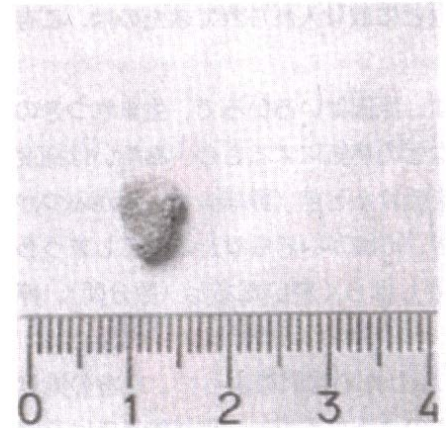
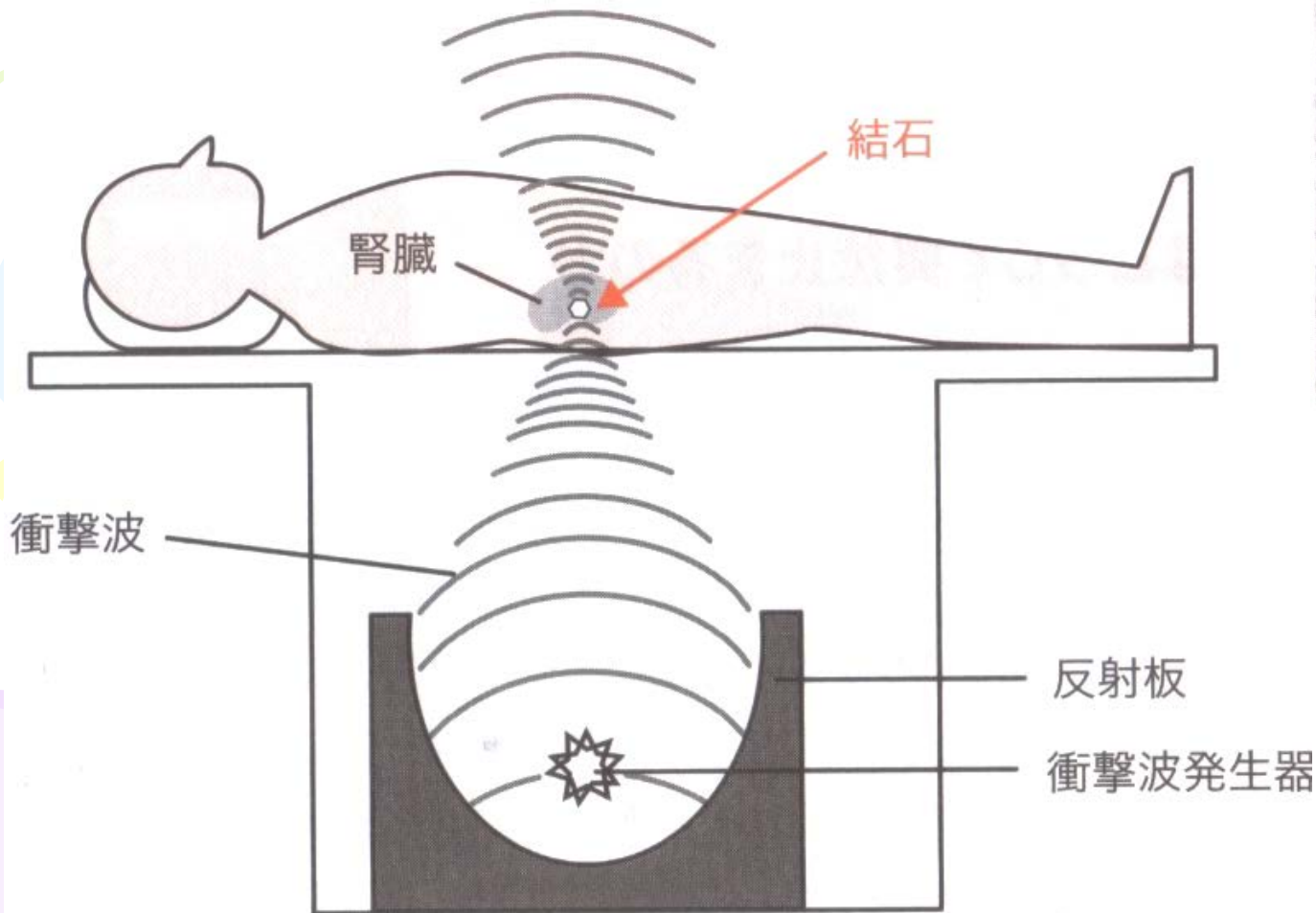
●尿路結石の種類●



結石の治療法

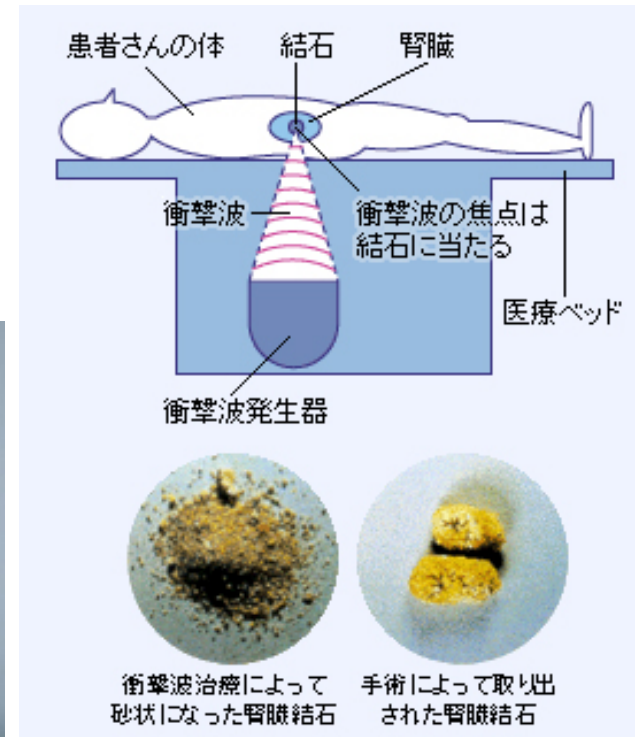
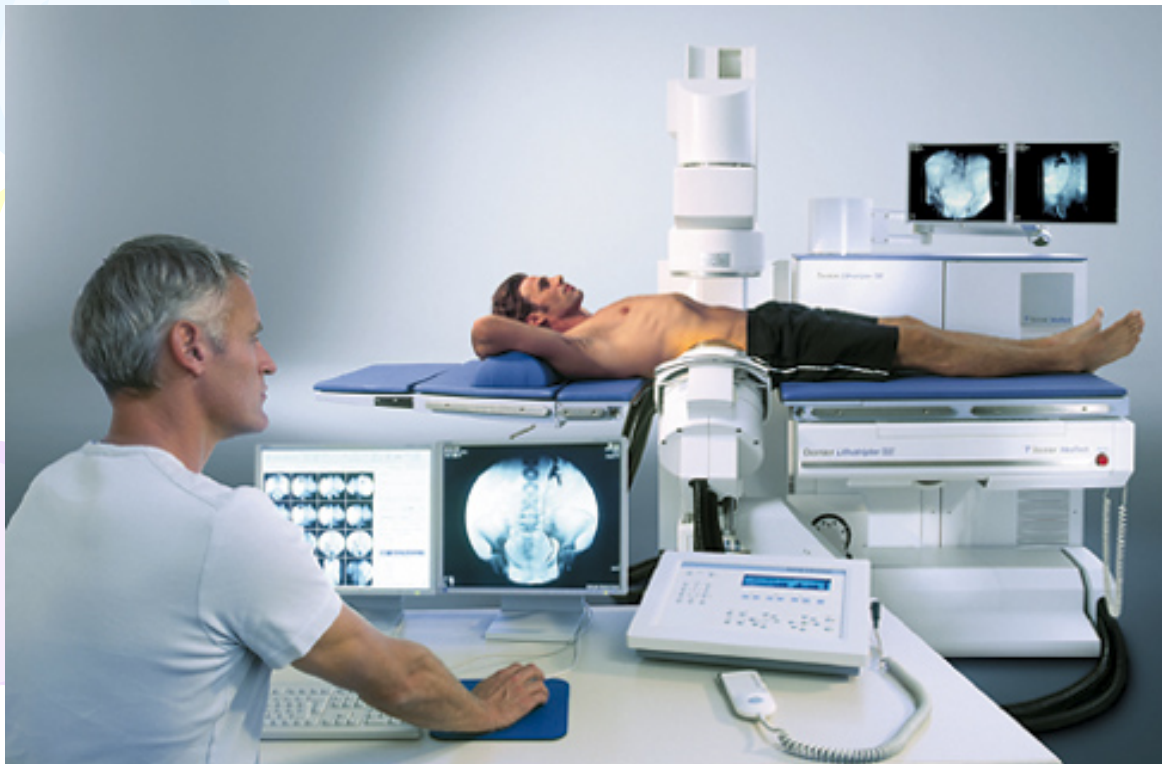
- 経皮的腎碎石術、経尿道的尿管結石碎石術、経尿道的膀胱結石碎石術
- 体外衝撃波結石破砕術 (Extracorporeal Shock-Wave Lithotripsy, ESWL)
- 1980年にミュンヘン大学で考案された
- 水中で発生させた衝撃波を水を通して体内へ伝えて衝撃波を結石に照射し、開腹手術をせずに、筋肉や他の臓器を傷つけることなく、結石のみを細かく破砕する
- 砂状に破砕された結石は尿と共に自然に体外に排出される
- 最初は衝撃波を伝えるために患者を水中(浴槽)に入れた状態で行ったが、今は、浴槽も麻酔も不要、痛みも少ない

体外衝擊波結石破碎法 (ESWL)



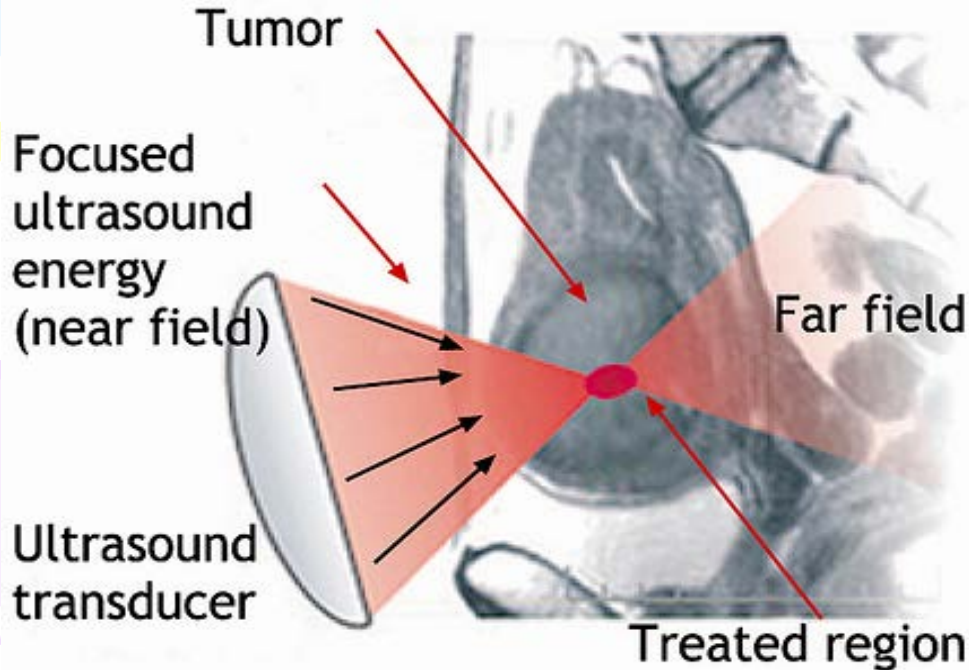
ESWLの特長

- 開腹手術をしないので体に傷つかない
- 治療時間は約1時間、入院期間は短く
- 疼痛は軽度のため基本的には無麻酔



MRIgFUSの概要

- 高速MRIでリアルタイムに病巣をモニタリングし、病巣の場所を正確に特定した上、温度変化を常に把握しながら、集束超音波によって病巣を焼灼する手術
- 沢山の超音波ビームを集束して照射すると、焦点のところに温度をあげることで癌や腫瘍細胞を高温で凝固壊死させる



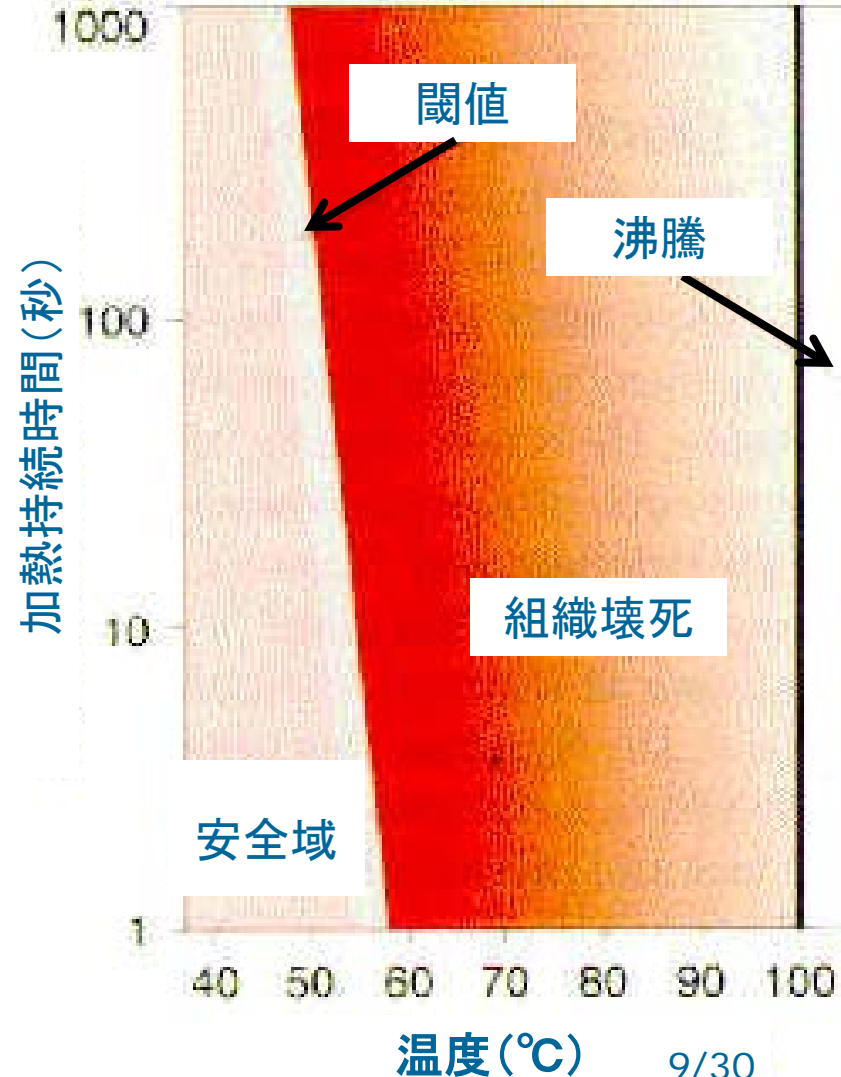
FUSの原理と熱効果

- 超音波は粒子の運動により音の圧力波
- この圧力波は皮膚、筋肉、脂肪と他の軟組織を通して機械振動を起こして伝搬する
- 高密度の超音波エネルギーを集束して、小さい標的に焦点を当てると、標的部分の腫瘍組織を加熱して、腫瘍組織を壊死させ、治療効果を発揮する
- 集束した超音波ビームはまず広い面積に分散し、無害な強度で皮膚や軟組織を通過して、標的組織のところに小さい焦点(数mm程度)に集束して、焦点付近の組織タンパク質変性、細胞の回復不能な損害、凝固壊死を引き起こす

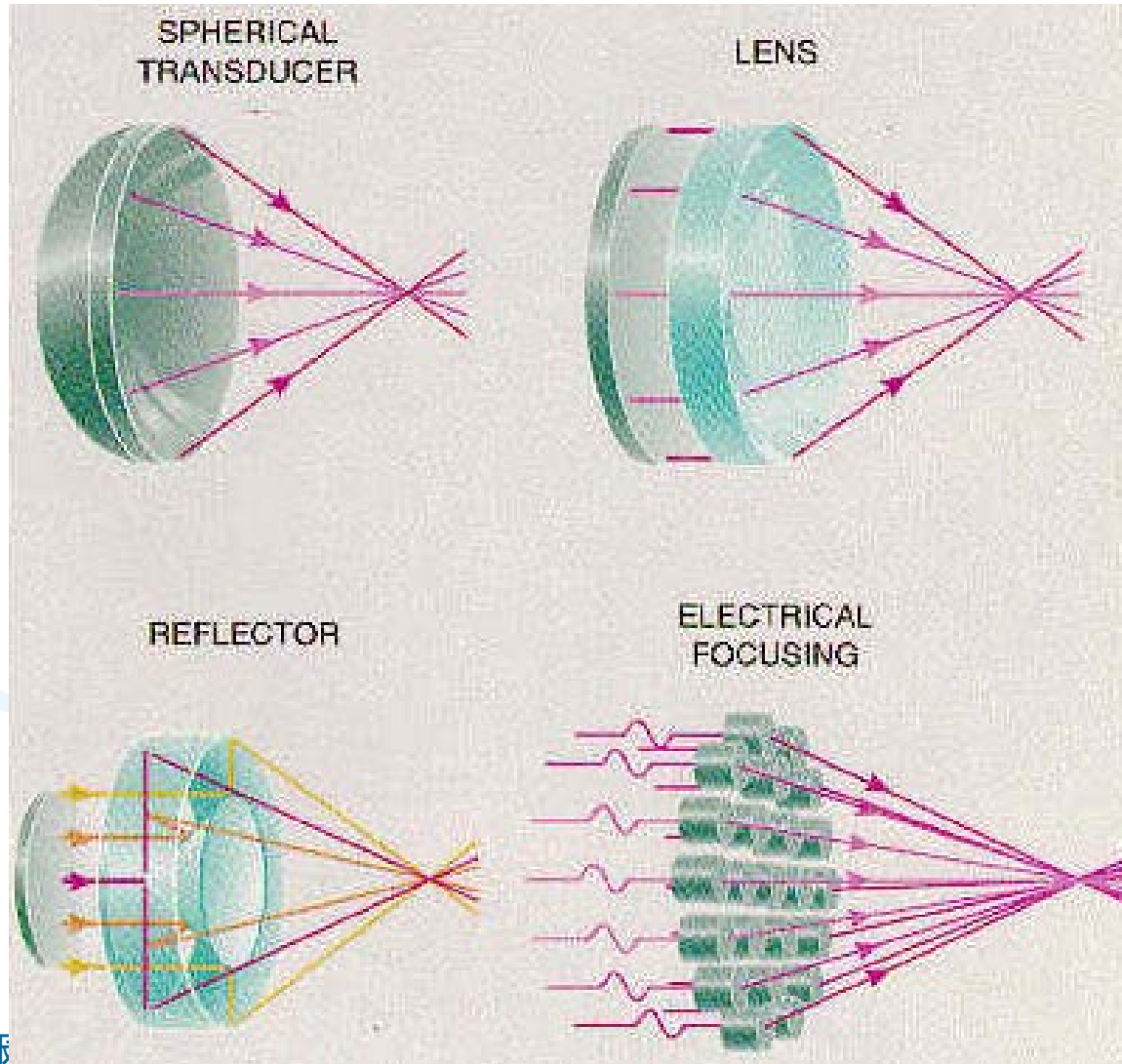
タンパク質凝固と組織壊死



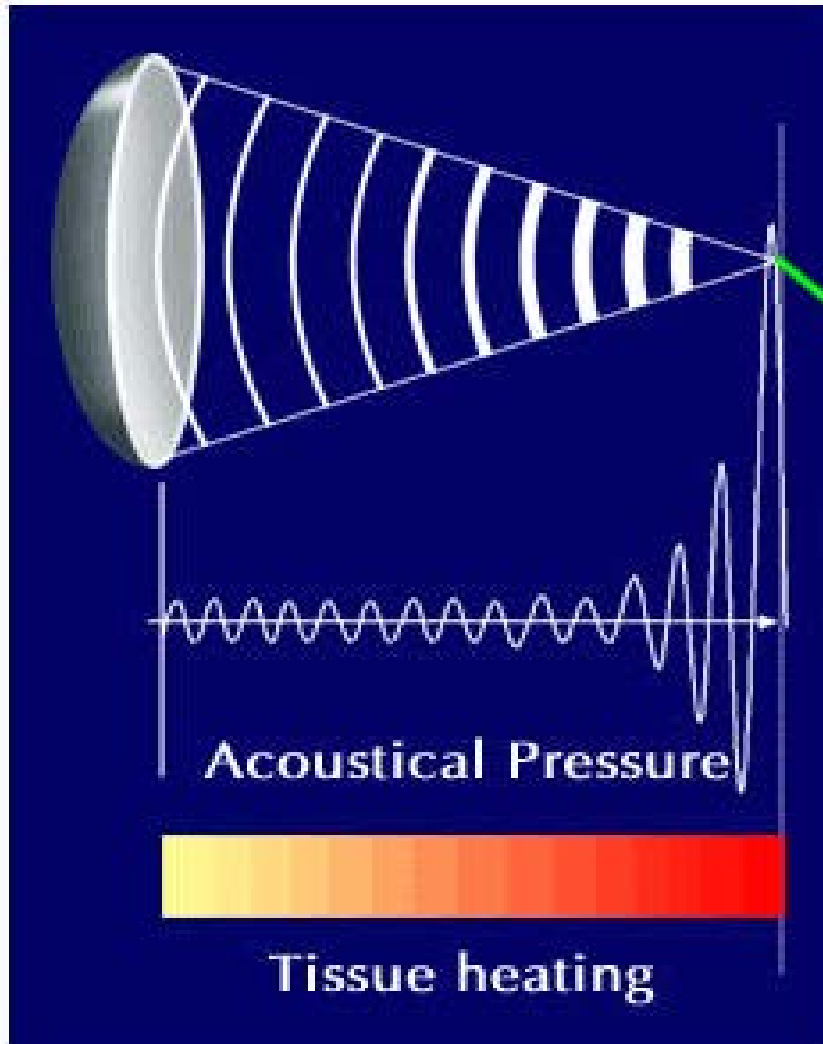
- 気穴 (Cavitation、キャビテーション) とは、組織内部の気泡の形成と崩壊を指す
- 気泡の崩壊は高温高圧と関連し、組織に機械的損傷をもたらす
- 出血と血管損傷が起きる
- メカニズムと効果はまだはっきりせず、必要なエネルギー、持続時間と周波数は、組織種類と位置に依存
- 組織の温度上昇と印加時間で組織の破壊程度を決定
- 多くの組織と腫瘍種類の閾値はすでに確立された。60~70°Cになると、すべての組織を数秒内で破壊



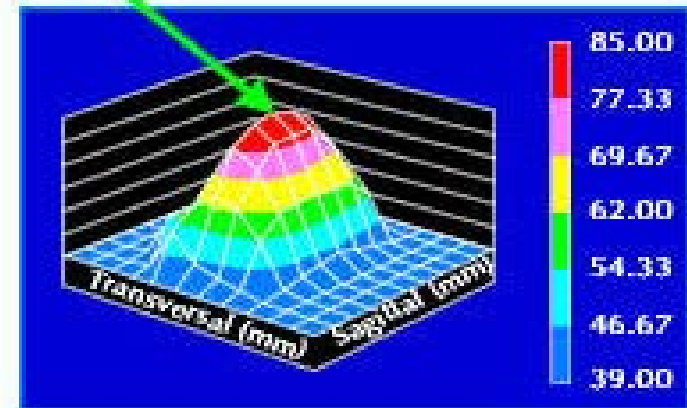
超音波ビームの集束方法



集束超音波と温度分布



Focused transducer
Emitting ultrasound waves



MRI Guide

超音波焦点の定位と照射結果の監視

- 標的組織(腫瘍)への超音波エネルギー照射は精確に定位可能(±1mm)
- 標的組織の大きさはMRI画像のコントラストから識別可能
- 高い温度感度を持つ組織の変化はMRI画像から観察可能



乳癌と良性疾患の手術

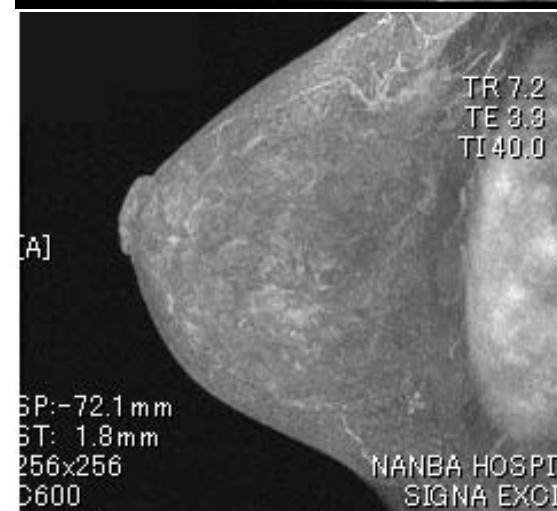
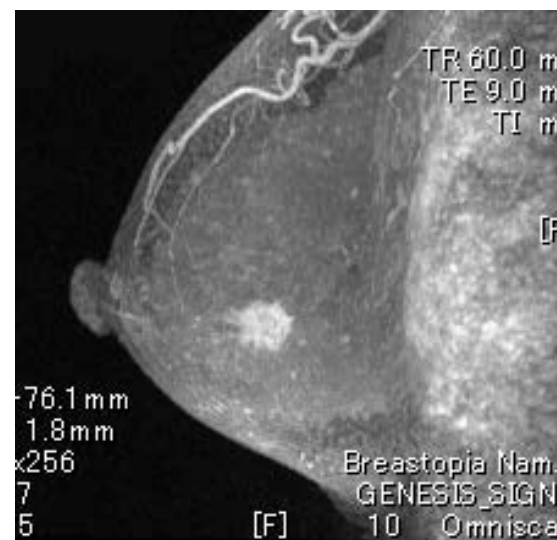
MRI磁場



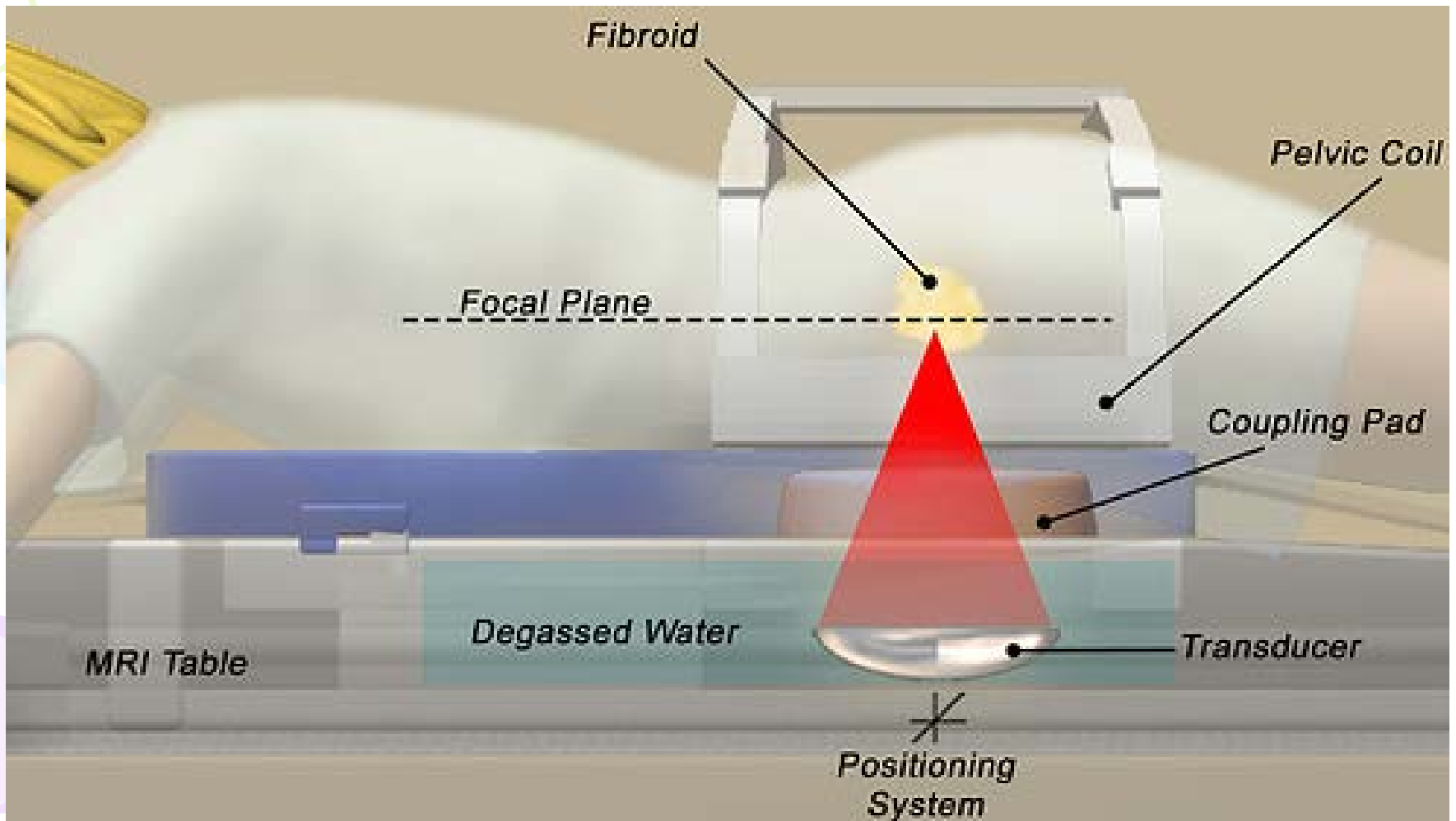
腫瘍

超音波ビーム

集束超音波装置



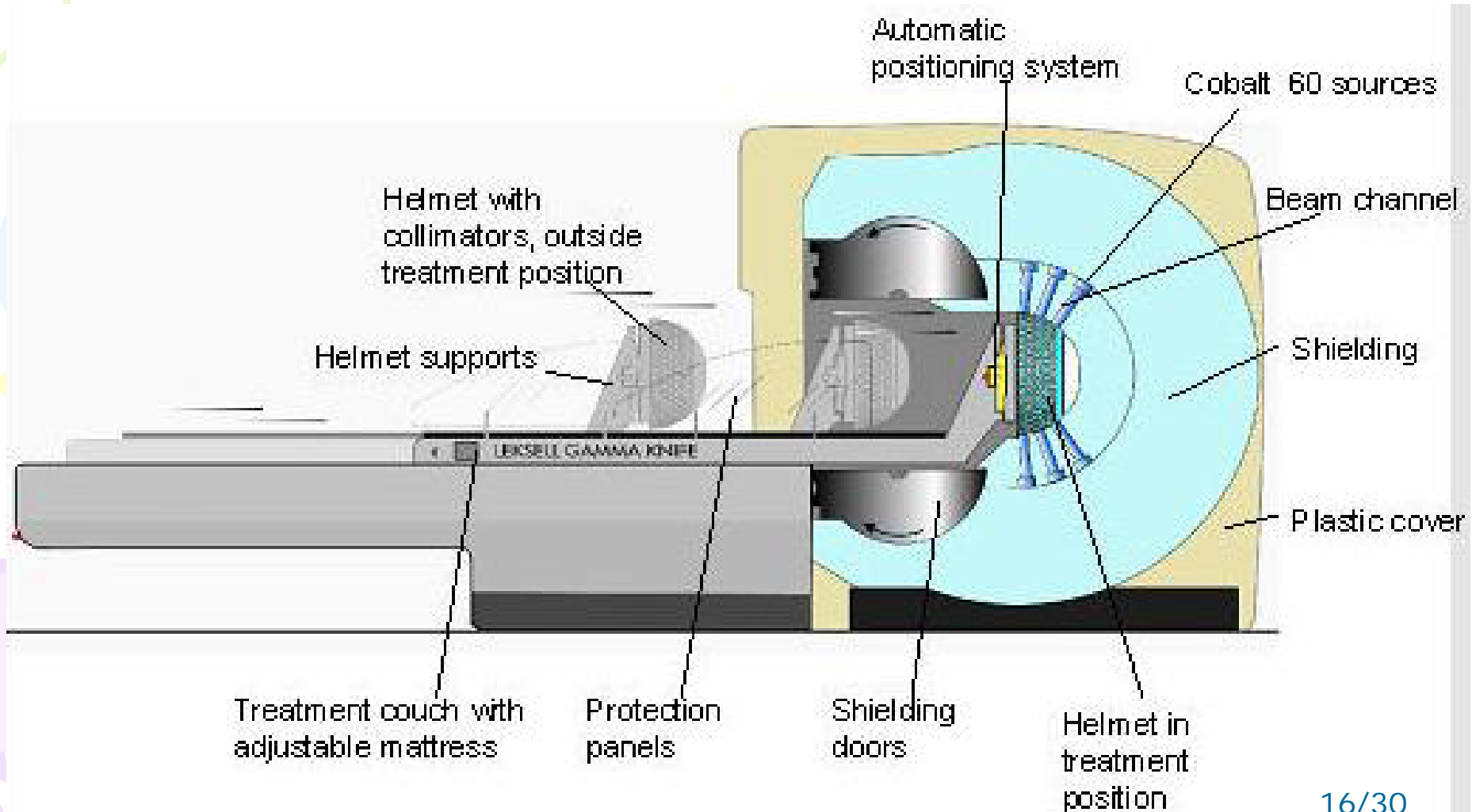
子宮筋腫の手術



ガンマーナイフ

- 1968年、スウェーデンの神経外科医Lars LeksellとBörje Larssonに開発された
- 定位放射線治療用の放射線照射装置
- 転移性脳腫瘍、脳血管の奇形などの治療
- 201個のコバルト60の線源をヘルメットのような形状に並べ、線源を精密(精度は0.2~0.5mmくらい)にコントロールし、病変部にピンポイントでガンマ線を集中照射する
- 個々の線源からのガンマ線は細く弱いですが、それぞれを病変部分に向け照射するので、病変部に対しては大きな線量となる
- 病変部分以外については、細く弱いガンマ線が貫通するだけで、副作用は最小限に抑えられる。一般的な開頭手術と比較して、外科的手術を要しない為、手術による合併症や感染症などのリスクを軽減できる

ガンマーナイフの構造



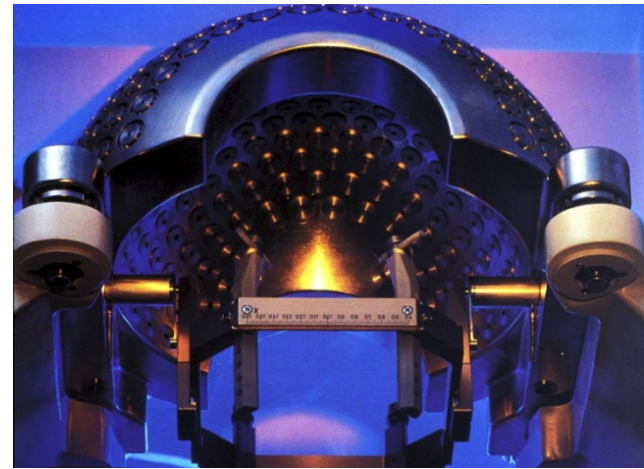
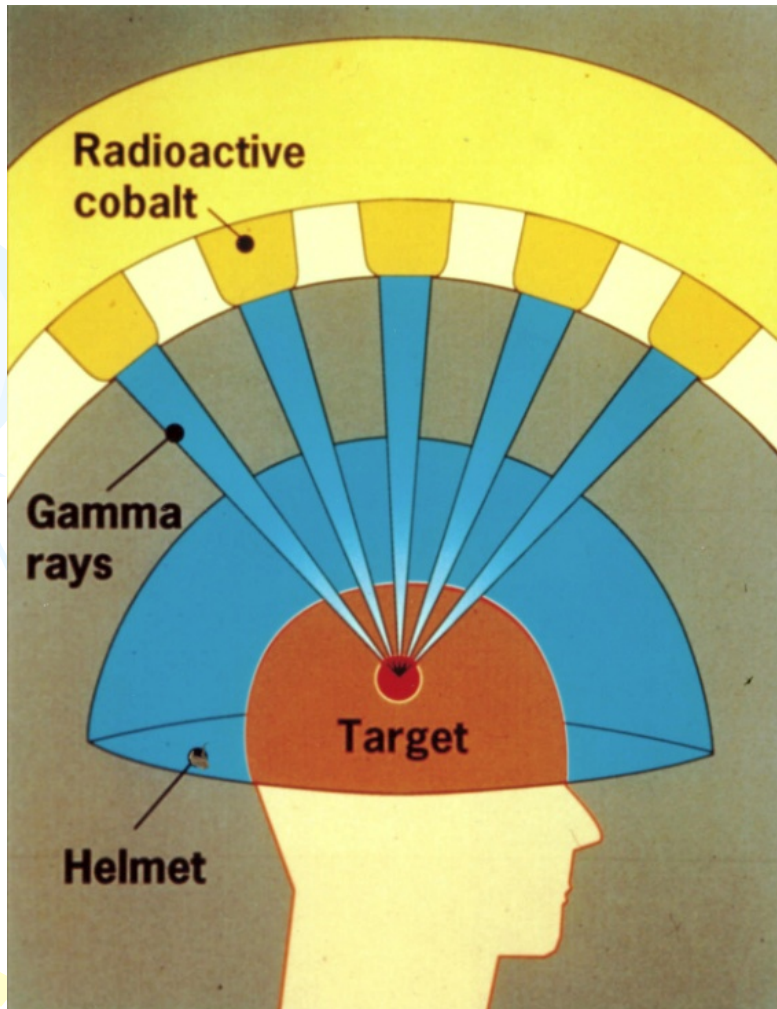
長所

- 手術(メスで開創)ができないような脳深部の病変や、手術後に重篤な神経学的後遺症を生ずる可能性の高い運動野や言語野などの部位の病変の治療
- 全身麻酔の必要もなく出血も伴わないので、高年齢者や全身状態が悪く、開頭手術ができない症例
- 手術による場合のような合併症の危険がない
- 放射線抵抗性で分割照射法による通常の放射線治療では制御できないような疾患
- 治療は通常2泊3日の入院で済み、他の方法に比べて入院期間や治療期間が短い

短所

- 制限条件
 - 周囲の正常組織との境界が明瞭で画像診断で確認できる病変
 - 病変がコリメータヘルメットの中心に位置できるような脳深部の病巣
 - 病変に大きさは径25mm以下、容積10cm³以下
- 治療直後に病変が消失あるいは縮小するわけではない
- 一回大線量照射なので正常組織の回復効果が少ない
- 一回大線量照射なので従来の分割照射で蓄積されたデータが利用できない
- 長期観察例が少ないので長期的な治療効果や後遺症などの評価ができていない
- 装置が高価であり、線源(コバルト-60)の維持費が高い

ヘルメット



Cobalt 60 (コバルト, Co)

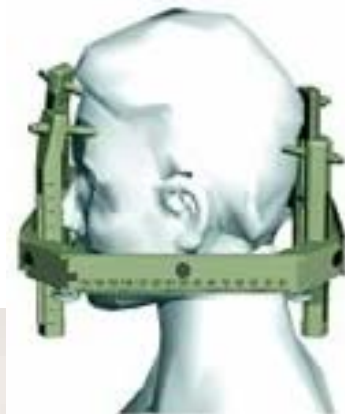
- 5 oz (142 g) are required 44,000 lbs (20 ton) of steel for adequate shielding
- The half life is 5 years approximately



適応疾患

脳腫瘍	転移性脳腫瘍（消化器癌など） 良性脳腫瘍（聴神経腫瘍、髄膜腫、下垂体腺腫、頭蓋咽頭腫） 非良性脳腫瘍（一部のグリオーマ、悪性リンパ腫など）
脳血管障害	脳動静脈奇形 一部の海綿状血管腫
機能性脳疾患	てんかん（内側部側頭葉、視床下部など） 痛み（三叉神経痛、骨転移による癌性疼痛、視床痛など） パーキンソン病、振戦、不随意運動など
眼疾患	眼窩内腫瘍、眼内腫瘍、加齢性変性症

フレーム装着



- CT/MRI/血管撮影などの手法による位置情報を取得する座標系の基準(精度0.5mm以上)
- 局所麻酔下(前頭部に2箇所、後頭部に2箇所の計4箇所)、座標目盛付きの金属フレームを4本のスクリューで頭部にかたく固定
- フレームを介して、頭部をガンマナイフ装置ドッキング機構に固定



術前画像検査

- CT、MRI、脳血管撮影などの各種画像技術を用いて、精密検査を行う
- 画像スライスの厚み(0.5-2.0mm)
- 画像枚数200-400枚程度
- 病変の座標(位置、大きさ、範囲)を正確に計測



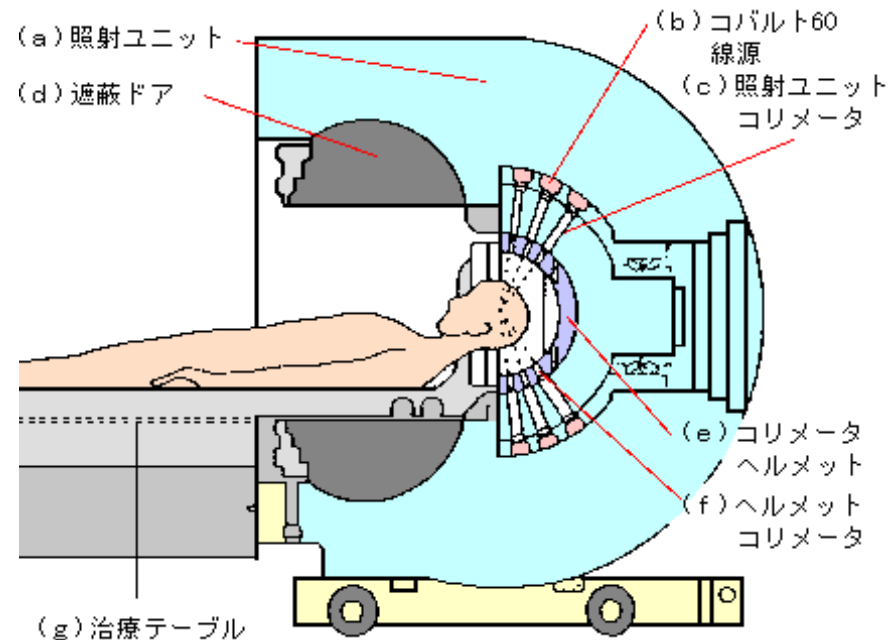
治療計画

- CT、MRI、脳血管撮影などの検査結果から、病変部分と照射部分の位置を決定
- 放射線の照射線量や照射時間を決定
- コリメータヘルメットの選択(201個の穴、鋼鉄製)、穴の大きさが4・8・14・18mmの4種類あり、病巣の大きさにあわせて選択
- 歪み補正(誤差0.3mm)



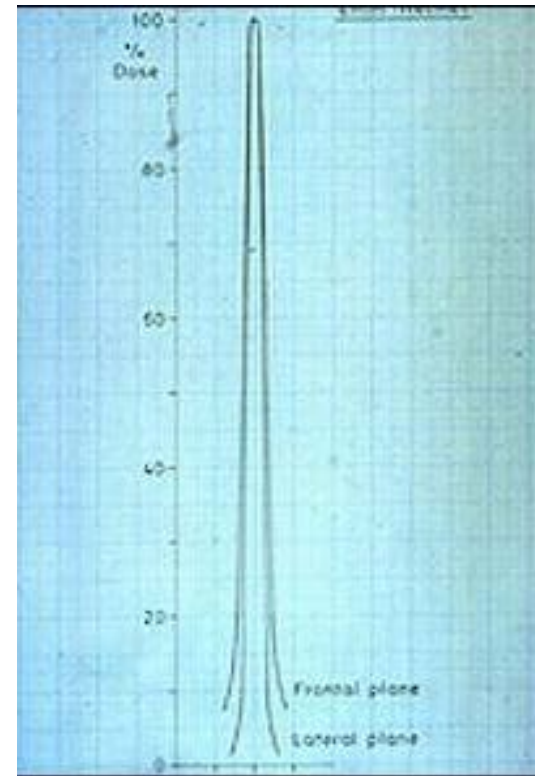
治療

- ベッドの上に寝て、ベッドは自動的に装置の中へ移動
- APS(Automatic Positioning System, 自動位置設定システム)は、自動的に頭部フレームに装着しているヘルメットを精密に照射位置を合わせる(機械誤差は0.2mm以下)
- カチッとベッドが止まった時点から照射が開始
- ガンマ線照射時間は、一回約5～10分間。病巣の位置や形状・大きさによっては、数回繰り返す。治療全体の時間は3時間程度



照射精度

- 最も重要な課題。
- 標的の中心からmmオーダーの照射精度を保証できないと、正常な脳組織もダメージを受けることになる。



放射線局部照射

線源を入れるチューブ

X線

照射

病巣

肺

CT

位置を特定→放射線治療

放射線

線源

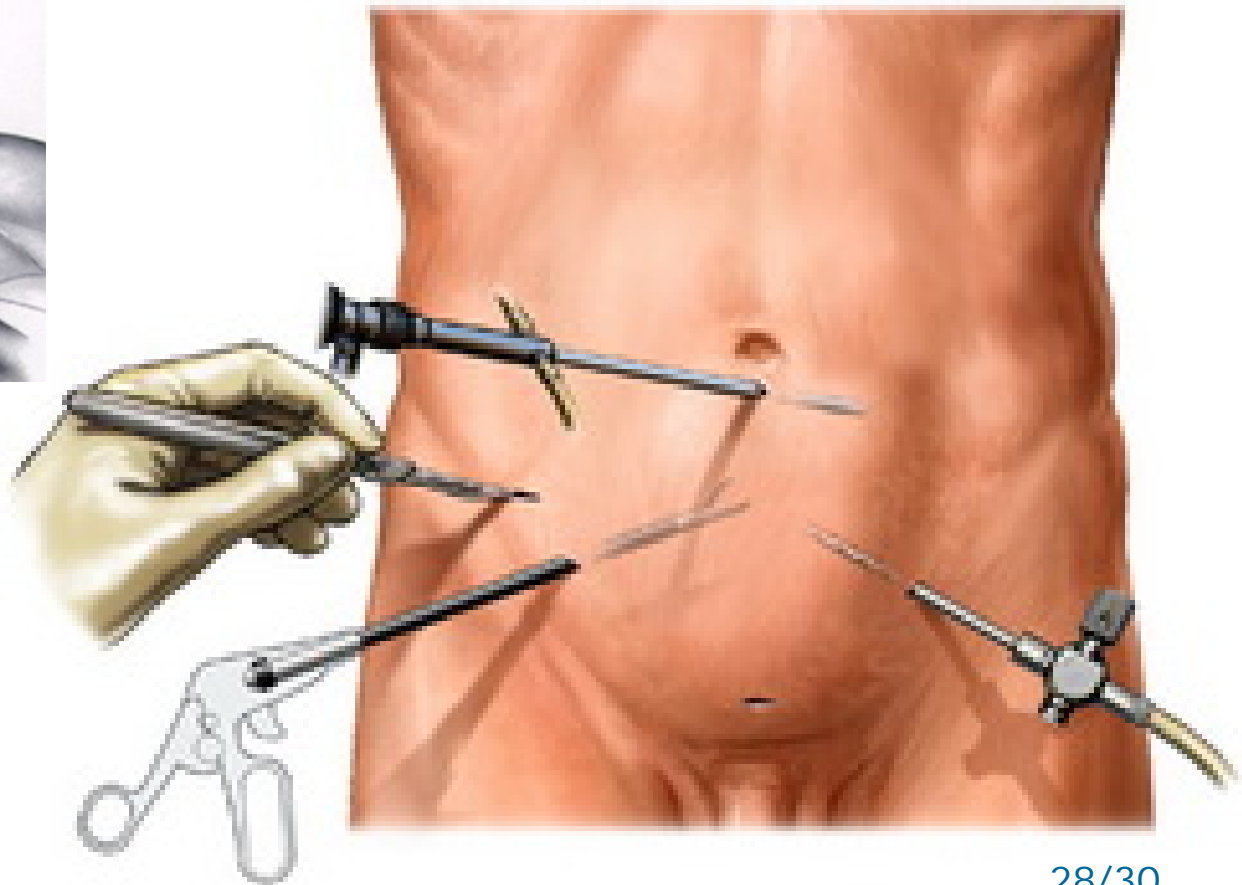
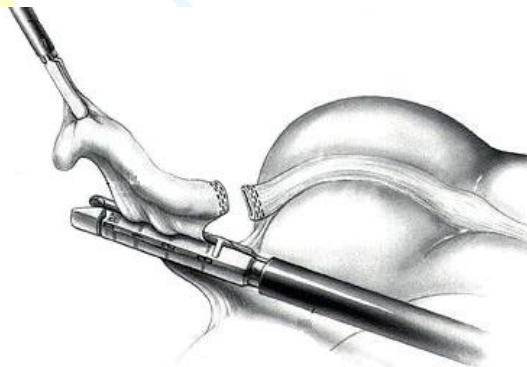
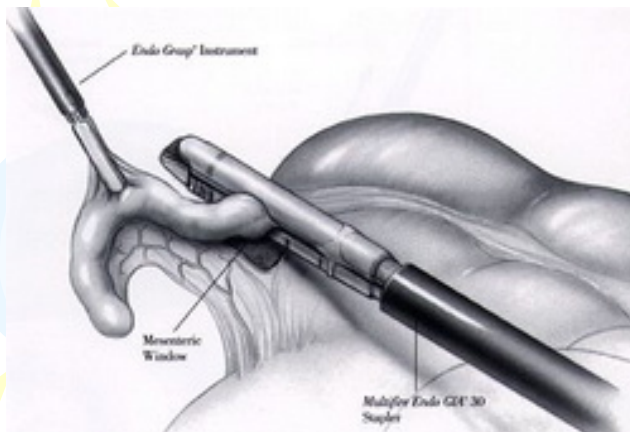
がん病巣

線源を遠隔操作で照射時間を調節して移動

エックス線透視とCT装置を駆使し、ミリ単位で病巣を特定、口から挿入した線源から、放射線を直接照射する。照射はコンピューター制御。高い局所集中性と安全性を両立させている

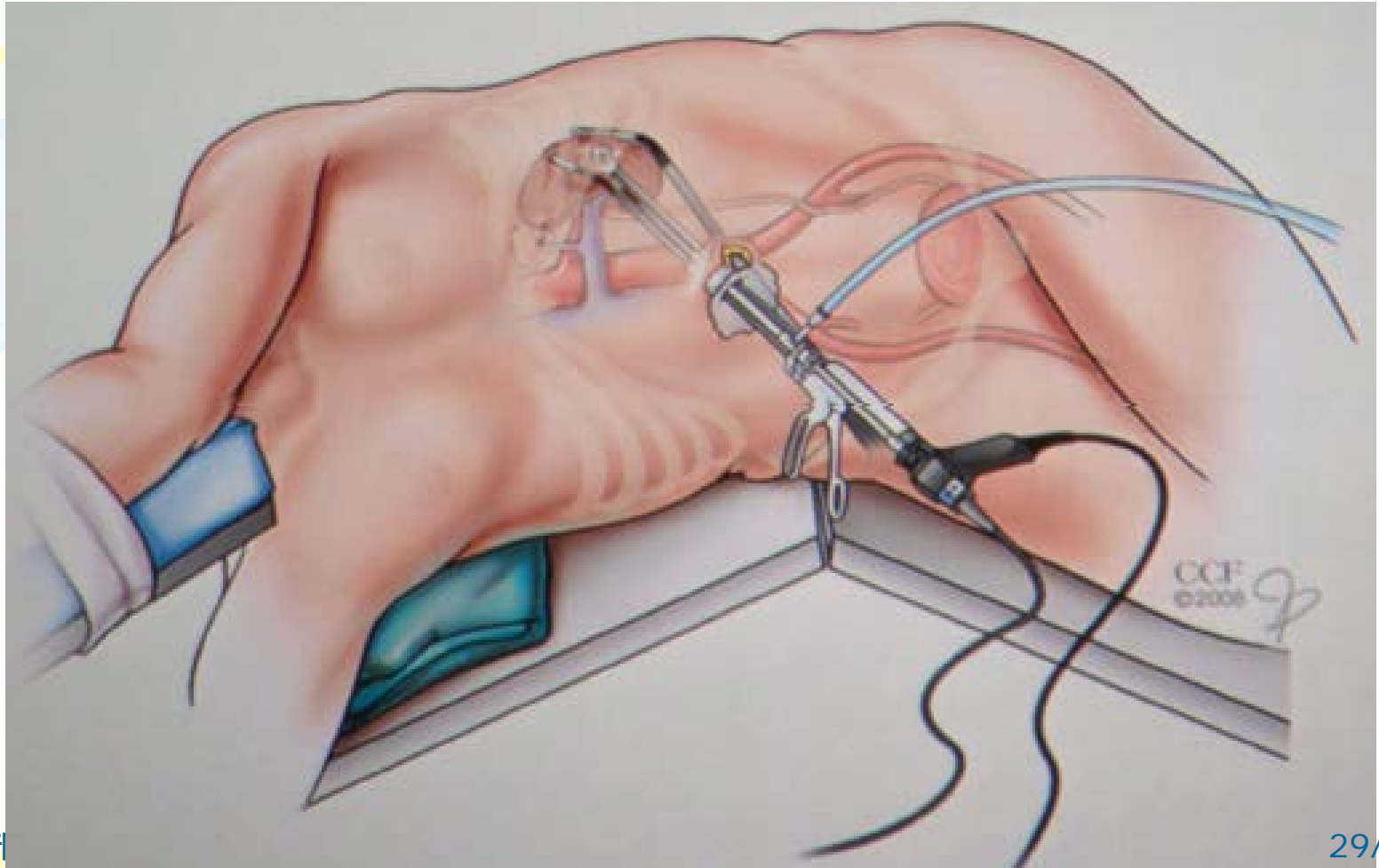
低侵襲手術—MIS

- Minimal Invasive Surgery



单孔式腹腔镜手术—LESS

- Laparo-Endoscopic Single port (site) Surgery



經管腔的内視鏡手術—NOTES

- Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery

