

# Radioterapia e radiochirurgia Stereotassica cerebrale

Applicazioni della Fisica alla Medicina | Laurea Magistrale in Fisica  
Università degli studi di Milano-Bicocca

# RADIOCHIRURGIA E RADIOTERAPIA STEREOTASSICA CEREBRALE<sub>1/2</sub>

---

**STEREOTASSIA:** tecnica basata sull'utilizzo di un sistema di immobilizzazione e posizionamento del paziente con annesso dispositivo che fornisce un sistema di riferimento solidale per la localizzazione del bersaglio

**RADIOCHIRURGIA STEREOTASSICA (SRS):** somministrazione con estrema precisione di una singola dose elevata di radiazioni ionizzanti focalizzata con tecnica stereotassica su di un piccolo bersaglio encefalico. (Leksell 1951)

**RADIOTERAPIA STEREOTASSICA (SRT):** tecnica volta all'irradiazione di lesioni intracraniche in frazioni multiple mediante piccoli fasci esterni di radiazione ed in associazione con sistema di localizzazione stereotassico.

# RADIOCHIRURGIA E RADIOTERAPIA STEREOTASSICA CEREBRALE<sub>2/2</sub>

---

Queste tecniche di irradiazione consentono di somministrare dosi elevate a volumi bersaglio di piccole dimensioni, ma spazialmente ben definiti.

Le distribuzioni di dose che si ottengono sono caratterizzate dalla presenza di elevati gradienti di dose tra volume bersaglio e tessuto sano circostante.

# SORGENTI

- Acceleratori lineari per avere RX di alta energia



**Varian Trilogy-NOVALIS  
Tx, Brainlab, Helmstetten, Germania**  
**Fotoni 6 MV, mMLC**



**Tomoterapia**  
**Fotoni 6 MV**



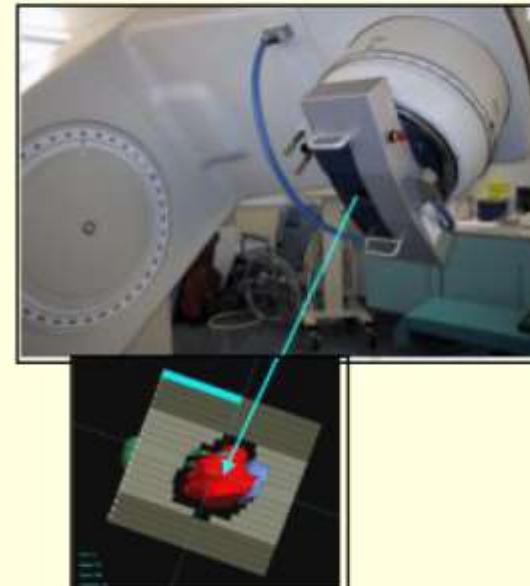
**Cyberknife, Accuray, Sunnyvale,  
USA**  
**Fotoni 6MV**

- Sorgenti multiple di cobalto in apparecchiature dedicate
- Protoni e ioni pesanti (elio)

# TRATTAMENTO STEREOTASSICO CON LINAC<sub>1/2</sub>

---

- Acceleratore Lineare (LINAC)
- Sistema di collimazione addizionale (coni, mMLC)



- Sistema di immobilizzazione e localizzazione

# TRATTAMENTO STEREOTASSICO CON LINAC<sub>2/2</sub>

---

- Procedura di immobilizzazione del paziente
- Imaging CT con sistema di localizzazione
- Registrazione delle immagini all'interno del TPS
- Fusione con immagini provenienti da altre modalità
- Determinazione delle coordinate stereotassiche dell'isocentro e studio del piano di trattamento
- Verifiche dosimetriche in fantoccio
- Posizionamento del centro del target all'isocentro del Linac
- Verifica del posizionamento del paziente tramite portal film
- Irradiazione del paziente

# REQUISITI FONDAMENTALI DELLA RADIOCHIRURGIA STEREOTASSICA<sub>1/3</sub>

---

Localizzazione accurata

Precisione meccanica

Distribuzione ottimale della dose

Sicurezza del paziente

# REQUISITI FONDAMENTALI DELLA RADIOCHIRURGIA STEREOTASSICA<sub>2/3</sub>

---

## FRAME STEREOTASSICO

Primo passo di ogni procedura stereotassica è l'applicazione di un frame di riferimento alla testa del paziente, si stabilisce così una rigida relazione tra l'anatomia intracranica del paziente e il sistema di coordinate del frame.

# REQUISITI FONDAMENTALI DELLA RADIOCHIRURGIA STEREOTASSICA<sub>3/3</sub>

---

## LOCALIZZAZIONE ACCURATA/PRECISIONE MECCANICA

Le tecniche di localizzazione stereotassica dovrebbero essere in grado di determinare un oggetto nel sistema di coordinate del frame con un'accuratezza di 2 mm in TC e RM.

Un elemento essenziale della tecnica stereotassica è l'allineamento del sistema di coordinate del frame fissato al paziente con il sistema di coordinate del LINAC.

La procedura di allineamento si basa su dispositivi meccanici rigidi, sia montati sul lettino che indipendenti.

# METODI DI IMMOBILIZZAZIONE<sub>1/5</sub>

---

## INVASIVI

- Caschetto stereotassico fissato al cranio attraverso viti
- Viti di riferimento posizionate nella teca cranica e successivamente fissate all'unità di terapia
- Marcatori radio-opachi inseriti nel cranio durante il set-up del trattamento e visualizzati mediante portal imaging, che consentono di posizionare accuratamente il paziente

## NON INVASIVI

- Sistemi di bloccaggio del naso, orecchie arcate dentali
- Maschere termoplastiche
- Combinazione dei due sistemi

# METODI DI IMMOBILIZZAZIONE<sub>2/5</sub>

---

## Dispositivo invasivo Talon (Nomos corp.)

- Sistema di fissaggio invasivo removibile per radiochirurgia stereotassica e radioterapia stereotassica frazionata



- 2 viti di titanio impiantate dal neurochirurgo nella teca cranica a tutto spessore

# METODI DI IMMOBILIZZAZIONE<sub>3/5</sub>

---

## Caschetto invasivo Elekta

- Compatibile con tutte le modalità di imaging ( TC, MR, X-ray, PET)



## Caschetto invasivo 3DLine

- 3 plates laterali a forma di N con cateteri in plastica da riempire con mezzo di contrasto da agganciare al sistema di immobilizzazione
- Assenza di artefatti sulle immagini
- 4 viti di fissaggio



# METODI DI IMMOBILIZZAZIONE<sub>4/5</sub>

---

## Caschetto non invasivo RADIONICS

- Fissaggio dell'arcata dentale superiore e della regione dell'occipite



## Caschetto non invasivo 3Dline

- Basato su impronta arcata dentale
- Maschera termoplastica
- Sistemi di fissaggio a bracci idraulici



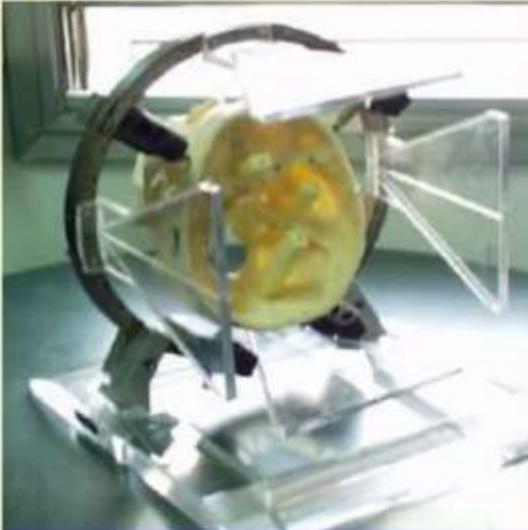
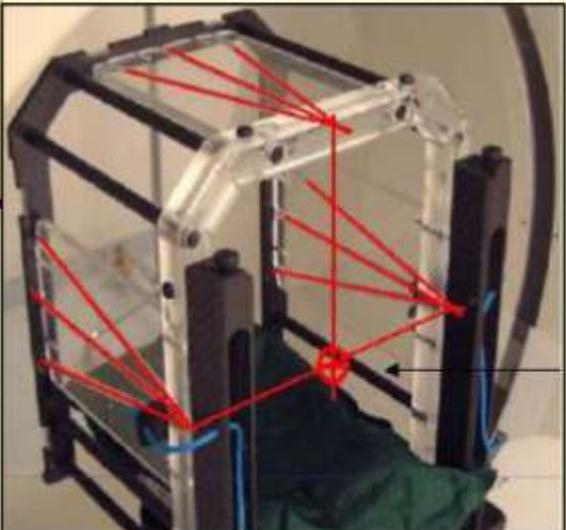
# METODI DI IMMOBILIZZAZIONE<sub>5/5</sub>

---

## Localizzatore

compatibile con il caschetto invasivo e il sistema a maschera

- ne esistono di diversi tipi con 3 o 4 piastre in PMMA a 90° con tubicini a “N” o “Z” o “V” da riempire con materiale radio-opaco;
- geometria nota: posizione tubicini rispetto a base: x,y,z



# TECNICHE DI IRRADIAZIONE<sub>1/2</sub>

1) Campi multipli IMRT

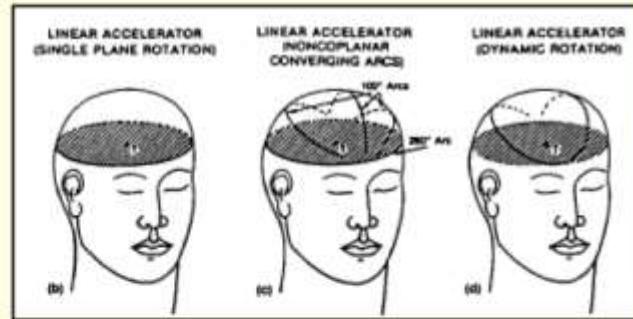
2) Campi multipli concentrici conformati

3) Archi multipli convergenti non complanari con:

- Collimatori conici addizionali
- MicroMLC addizionali o integrati
- Durante l'irradiazione il gantry si muove con continuità o a step successivi lungo un arco, ma il lettino di trattamento è fermo
- Si riescono a realizzare solo distribuzioni di dose di forma sferica o elissoideale

4) Archi multipli non complanari dinamicamente conformati o modulati:

- durante l'irradiazione sia il gantry che il lettino si muovono contemporaneamente
- impedisce la sovrapposizione di dose da fasci opposti

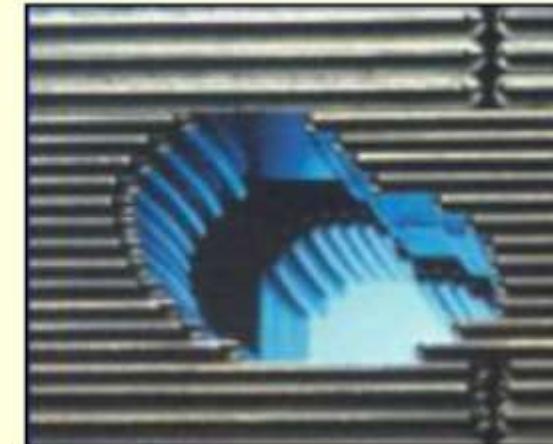


# TECNICHE DI IRRADIAZIONE<sub>2/2</sub>

---

## TARGET NON SFERICO:

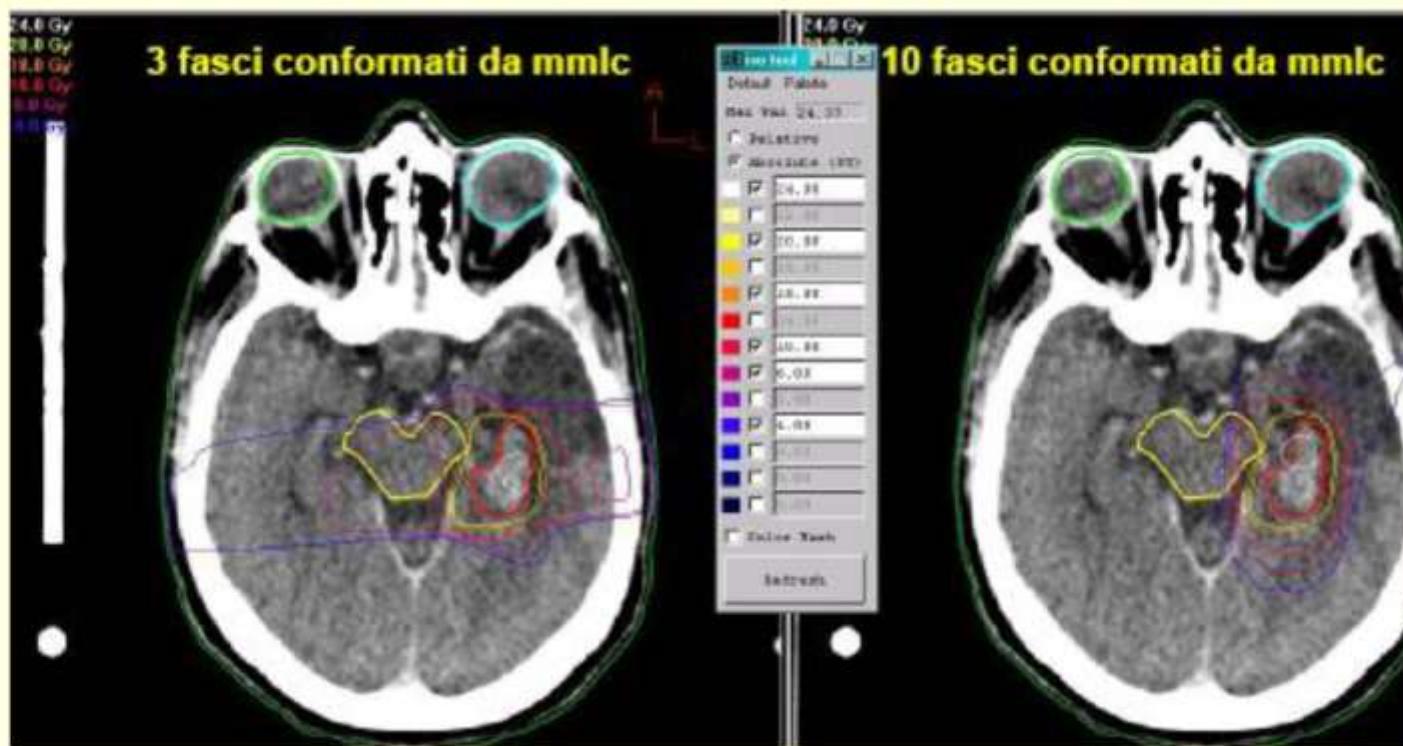
- con collimatori circolari si possono realizzare trattamenti ad isocentri multipli
- con collimatori mMLC queste lesioni possono essere favorevolmente trattate, grazie all'utilizzo di lamelle di larghezza 3-5 mm proiettata all'isocentro



# PIANIFICAZIONE/ESECUZIONE DEL TRATTAMENTO<sub>1/2</sub>

## PIANIFICAZIONE

- TPS dedicati
- Algoritmi semplici



Distribuzione di dose per trattamento a 3 e 10 fasci conformati da mMLC

# PIANIFICAZIONE/ESECUZIONE DEL TRATTAMENTO<sub>2/2</sub>

---

## ESECUZIONE DEL TRATTAMENTO

- Controllo degli archi di trattamento e verifica di possibili collisioni testata/lettino



# CYBER KNIFE<sub>1/10</sub>

---

Il sistema CyberKnife venne sviluppato da John Adler nei primi anni '90 presso la Stanford University ed il primo trattamento con questa macchina risale al 1994.

Il sistema CyberKnife rappresenta un dispositivo unico nel panorama delle macchine per radiochirurgia stereotassica.

Con il CyberKnife abbiamo l'introduzione della robotica nell'ambito della tecnologia radioterapica.

# CYBER KNIFE<sub>2/10</sub>



# CYBER KNIFE<sub>3/10</sub>

---

Il sistema CyberKnife è un sistema robotico ad elevata accuratezza per radiochirurgia e radioterapia stereotassica *full body*.

Grazie al sistema di guida mediante immagini, alla tecnologia robotica e al tracking dinamico di bersagli che si muovono col respiro, il sistema permette di ottenere un'accuratezza sub-millimetrica ed un elevato gradiente di dose in modo da colpire il bersaglio con dosi elevate e salvaguardare gli organi critici circostanti

L'acceleratore lineare (LINAC) leggero e compatto emette raggi X a 6 MV con dose rate fino a 800 UM/min.

Il linac è dotato di dodici collimatori secondari intercambiabili che permettono di ottenere fasci a sezione circolare con diametro da 5 a 60 mm (fasci miniaturizzati adeguati anche alla radiochirurgia).

I fasci possono essere indirizzati sul bersaglio da più di 1500 posizioni diverse grazie alla mobilità del robot su cui è montato il linac.

# CYBER KNIFE<sub>4/10</sub>

## GUIDA MEDIANTE IMMAGINI

Le sorgenti di raggi X diagnostici, insieme ai relativi detettori di immagini, costituiscono il sistema di imaging.

Durante il trattamento, prima di ogni fascio vengono acquisite due radiografie del paziente perpendicolari tra loro che, confrontate con le immagini digitali ricavate dalla TC, le DRR, permettono al sistema di determinare e monitorare la posizione del target.

Il sistema invia così al robot le eventuali correzioni da applicarsi alla direzione del fascio per compensare gli eventuali spostamenti del bersaglio, in questo modo per l'esecuzione del trattamento non è necessario né un casco stereotassico né un body frame per fissare il paziente.

Oltre al maggior confort per il paziente, uno dei grandi vantaggi è quello di poter effettuare sia trattamenti in frazione singola, che in regime di ipofrazionamento (2-5 frazioni), qualora importanti strutture critiche impongano limiti sulla dose per frazione.



# CYBER KNIFE<sub>5/10</sub>

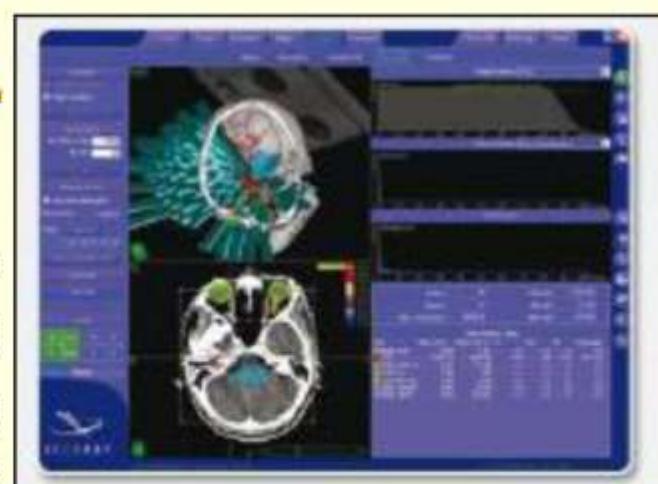
## TRACKING DINAMICO

Il sistema di tracking respiratorio Synchrony è in grado di individuare e seguire in tempo reale la posizione del tumore e sincronizzare il movimento del fascio di trattamento con il movimento del target dovuto al respiro, durante l'intero ciclo respiratorio.

Questa abilità di tracking 4D non solo rende i trattamenti molto più confortevoli per il paziente, che può respirare liberamente, ma anche più sicuri, veloci e soprattutto accurati.

## SISTEMA DI PIANIFICAZIONE DEL TRATAMENTO MULTIPLAN

Multiplan è un sistema di pianificazione appositamente creato per Cyberknife e consente la fusione di immagini multimediali, il contouring manuale e automatico, ottimizzazione inverse planning, e il confronto di piani rivali



# CYBER KNIFE<sub>6/10</sub>

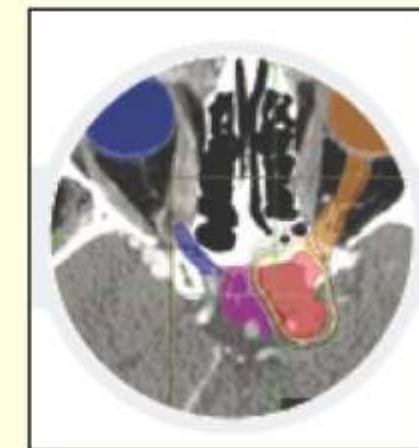
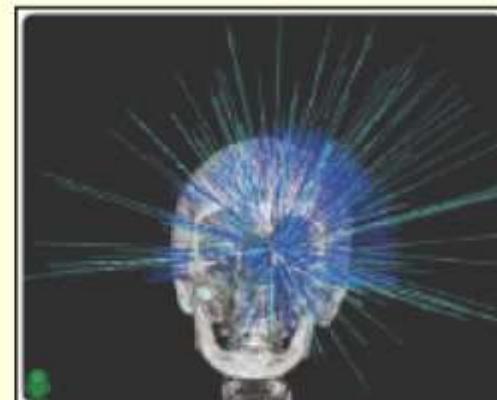
## APPLICAZIONI CLINICHE

E' possibile trattare con estrema accuratezza, oltre alle lesioni intracraniche anche aree cliniche critiche quali la spina dorsale, i polmoni, il fegato, il pancreas e la prostata

## RADIOCHIRURGIA INTRACRANICA, APPARATO OTTICO, TESTA-COLLO

L'immobilizzazione non invasiva rende possibile il trattamento delle lesioni intracraniche, delle vie ottiche e delle regioni testa-collo in frazione singola o in più frazioni con un'accuratezza sub-millimetrica.

Oltre ai tumori il Cyberknife trova applicazione anche nei trattamenti di disturbi funzionali quali la nevralgia del trigemino e delle malformazioni arterovenose (MAV)



# CYBER KNIFE<sub>7/10</sub>

## RADIOCHIRURGIA SPINALE

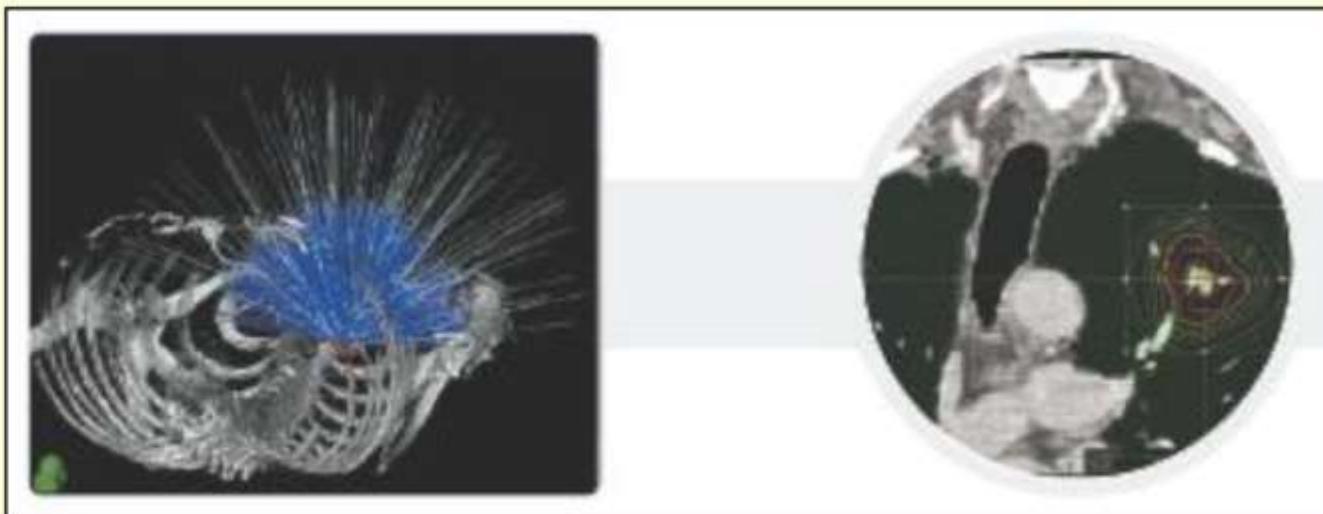
Grazie alla possibilità di effettuare trattamenti non complanari, sia isocentrici che non isocentrici, il sistema è in grado di irradiare con elevata precisione e conformazione lesioni spinali e paraspinali e di controllare le dosi al midollo spinale e alle strutture critiche sensibili. Il trattamento è del tutto non invasivo grazie al tracking diretto sui reperi ossei delle vertebre spinali.



# CYBER KNIFE<sub>8/10</sub>

## RADIOCHIRURGIA AL POLMONE, FEGATO, PANCREAS, TESSUTI MOLLI

La precisione di targeting che deriva dall'utilizzo del tracking dinamico permette in fase di pianificazione di limitare i margini assegnati al target a quelli clinicamente rilevanti, decisamente inferiori rispetto a quelli convenzionalmente usati per compensare imprecisioni del setup e dell'irradiazione



# CYBER KNIFE<sub>9/10</sub>

---

## RADIOCHIRURGIA DELLA PROSTATA

La possibilità di scattare continuamente immagini radiografiche durante il trattamento consente di monitorare i rapidi movimenti della prostata e di effettuare un irraggiamento sicuro.

Grazie a queste caratteristiche il sistema è in grado di erogare sia distribuzioni di dose omogenee, sia distribuzioni eterogenee limitando l'esposizione della parete rettale e dell'uretra



## Il Sistema CyberKnife può essere utilizzato anche in caso di:

- pazienti che non possono o non vogliono essere sottoposti alla chirurgia tradizionale
- lesioni che risulterebbero inoperabili utilizzando gli approcci chirurgici tradizionali
- residui tumorali che rimangono dopo una resezione parziale di una lesione
- *boost* associati alla terapia radiante classica
- per ri-trattare lesioni in cui la radioterapia o la chirurgia hanno fallito.

# GAMMA KNIFE<sub>1/5</sub>

---

E' una strumentazione radiochirurgica di ultima generazione che permette il trattamento di patologie cerebrali mediante l'utilizzo di un fascio di radiazioni basandosi su un sistema di puntamento stereotassico ( individua nelle tre dimensioni spaziali la posizione della lesione)

La precisione fornita dal sistema di localizzazione stereotassica consente di focalizzare e concentrare le radiazioni in un piccolo spazio di tessuto cerebrale, in modo che solo questo riceva un'elevata quantità di radiazioni, risparmiando il tessuto sano e permettendo di limitare il danno ai tessuti sani limitrofi e gli effetti collaterali



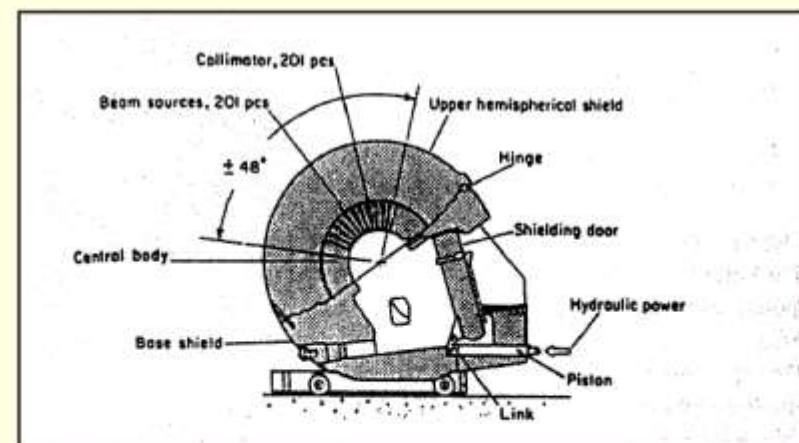
# GAMMA KNIFE<sub>2/5</sub>

## CARATTERISTICHE

- 179-201 sorgenti di cobalto-60 (fotoni 1.17-1.33 MeV)
- focalizzazione in un unico punto a 403 mm
- asse principale a 55° rispetto a un piano orizzontale, arco di ± 48 ° rispetto al fascio centrale sull'asse longitudinale, arco di ± 80° rispetto all'asse trasversale al tavolo di trattamento
- caschi di collimazione 4-18 mm
- otturatori

SISTEMA: - accurato

- costoso
- cambio sorgenti
- dose al corpo intero



# GAMMA KNIFE<sub>3/5</sub>

## FASI DELLA PROCEDURA

Un trattamento di radioneurochirurgia con Gamma Knife si svolge in un'unica seduta, ha una durata variabile tra le 3 e le 8 ore e consta di 4 fasi:

- 1) Fissazione di un casco stereotassico (alluminio o titanio) al cranio del paziente in anestesia locale, mediante applicazione transcutanea di 4 viti



# GAMMA KNIFE<sub>4/5</sub>

---

## FASI DELLA PROCEDURA

- 2) Esecuzione degli esami (RM, TC, ANGIOGRAFIA) necessari per il trattamento
- 3) Elaborazione e validazione del piano di trattamento (equipe) usando un software sofisticato che consente la simulazione del trattamento
- 4) Esecuzione del trattamento con il pz posto e fissato al lettino mediante il casco: il lettino si muoverà durante il trattamento secondo quanto pianificato spostandosi nello spazio così da focalizzare le radiazioni sulla lesione da colpire

# GAMMA KNIFE<sub>5/5</sub>

---

## CASISTICA

Le principali patologie trattabili con Gamma Knife sono:

- neurinoma dell'acustico
- Meningiomi
- Adenomi ipofisari
- Metastasi cerebrali
- Malformazioni vascolari
- Nevralgia trigeminale
- Astroцитomi, cordomi, melanomi uveali
- Altri tumori e patologie funzionali