

**La radioterapia guidata dalle immagini (IGRT)
nel trattamento dei tumori**

Firenze, 13 maggio 2006

Indice

1. Comunicato Stampa
2. Che cos'è la radioterapia
3. Il sottile confine tra il bene e il male nella radioterapia tradizionale
4. Gli effetti collaterali della terapia radiante tradizionale
5. Gli utilizzi della terapia radiante tradizionale
6. La svolta della terapia radiante guidata dalle immagini (IGRT)
7. Le indicazioni per la terapia radiante guidata dalle immagini (IGRT)

Allegati

- Radiazioni X e gamma e il loro impiego in medicina: cenni storici
- Biografia Prof. F. Casamassima
- Elekta Synergy®

1. Comunicato Stampa

La radioterapia oncologica si emancipa: da soluzione spesso palliativa a opportunità terapeutica sempre più primaria

Tecnologie computerizzate che "vedono" il tumore consentono un'alta precisione verso il bersaglio risparmiando i tessuti sani circostanti

Firenze, 13 maggio 2006 — La radioterapia oncologica si emancipa da terapia spesso palliativa, riservata a situazioni non chirurgiche o con sintomi da combattere, e si afferma come soluzione importante, alternativa se non prioritaria rispetto alla chirurgia, per diverse forme di tumore.

Nuove apparecchiature di grande avanzamento tecnologica consentono infatti di colpire con altissima precisione il bersaglio tumorale, risparmiando invece dall'irradiazione con dosi critiche i tessuti vicini, che con le tecniche tradizionali di radioterapia possono esser anche gravemente danneggiati, rendendo la radioterapia una soluzione molto pesante per il malato, e talora non effettuabile con intento eradicativo.

«C'è uno storico conflitto fra il bene e il male nella radioterapia oncologica», spiega Franco Casamassima, professore ordinario di radioterapia al dipartimento di fisiopatologia clinica all'Università di Firenze. «Il *bene* è la capacità della radioterapia di agire efficacemente sulle cellule tumorali. Il *male* è l'esposizione, intorno o vicino alla massa tumorale, di organi e tessuti che vengono danneggiati dall'irradiazione. Per attenuare questo problema occorre frazionare la terapia in innumerevoli sedute o limitare le dosi efficaci».

L'avvento tecnologico che ha rivoluzionato questo approccio terapeutico è quello della terapia radiante guidata dalle immagini (IGRT, image guided radiotherapy).

La lesione tumorale, esattamente individuata e ricostruita tridimensionalmente nella sua precisa morfologia grazie a un Imaging diagnostico sempre più efficiente, e spazialmente collocata nel corpo accanto alle strutture sane circostanti, può esser raggiunta dai fasci di radiazioni che depositano nel volume tumorale una dose eradicativa.

Per evitare però errori e incertezze durante l'irradiazione dovute ad un impreciso (parliamo di imprecisioni inferiori al centimetro) riposizionamento del paziente o agli spostamenti che la massa tumorale può mostrare (per esempio per atti fisiologici: respiro, peristalsi, pulsazioni arteriose), un raffinato sistema di acquisizioni di immagini Tac (cone-beam Tc) e/o fluoroscopiche mostra prima di ogni trattamento la posizione attuale del paziente, del bersaglio tumorale e degli organi critici nel suo interno, correggendo gli errori di riposizionamento e adattando quindi la somministrazione dell'energia radiante al preciso bersaglio del giorno ("adaptive radiotherapy").

«Macchine progettate per questo scopo consentono in pratica di "vedere" il tumore, correggere il posizionamento del paziente e le modalità di erogazione del fascio di irradiazione in modo da riprodurre al millimetro il progetto di trattamento, durante tutte le fasi della sua esecuzione», precisa il professor Casamassima, che è anche direttore dell'unità operativa di radiobiologia clinica dell'università, collocata nella Casa di Cura Santa Chiara di Firenze.

Con questo avvento tecnologico l'utilizzo con intento radicale della terapia radiante si estende quindi a indicazioni prima più limitate, come il tumore della prostata (anche in sostituzione dell'intervento chirurgico), alcuni tumori del polmone, o in sedi prima "proibite" come i tumori primitivi e secondari del fegato e le neoplasie del pancreas, nonché numerose altre neoplasie non raggiungibili, per qualsiasi ragione, chirurgicamente.

«Grazie a queste nuove tecnologie stiamo già lavorando a irradiare un bersaglio tumorale che non sia più solamente anatomico ma anche biologico, fondendo con le immagini anatomiche della tomografia computerizzata le immagini funzionali della PET (tomografia a emissione positronica) o della spettroscopia in risonanza magnetica.

Elekta Synergy® è l'apparecchio per radioterapia conformazionale IMRT (Intensity modulation radiation therapy) integrato con un sistema di registrazione delle immagini ad alta qualità (cone-beam TC), utilizzato elettivamente per questo tipo di trattamento radiooncologico.

L'apparecchio può:

dirigere il fascio secondo angolazioni ottimali seguendo la forma del tumore (conformazionalità);

localizzare con precisione la massa bersaglio, anche seguendo gli atti respiratori;

modulare l'intensità in modo da rilasciare dosi diverse in diversi settori del tumore che lo richiedano e mantenere sotto la soglia di tolleranza la dose ricevuta dagli organi critici (sani).

2. Che cos'è la radioterapia

La radioterapia oncologica (o terapia radiante) è una modalità terapeutica che utilizza le radiazioni X per colpire cellule tumorali maligne e distruggerle. Gli stessi raggi X che vengono utilizzati a basse dosi per finalità diagnostiche (radiografie, tomografia assiale computerizzata), ad alte dosi hanno proprietà distruttive nei confronti di diversi tipi di cellule.

I raggi X prodotti da apposite macchine rappresentano un fascio di energia ed è proprio questa energia che, applicata e accumulata sui tessuti malati e in dose adeguata, può consentire la distruzione delle cellule.

Il danneggiamento dei tessuti avviene mediante l'effetto delle radiazioni sul DNA cellulare. Le cellule normali possiedono meccanismi naturali di riparazione del DNA, ma le cellule tumorali, dotate di maggiore velocità di riproduzione, difettano di questa capacità, e sono pertanto esposte a una maggiore facilità di danneggiamento. Inoltre il danno indotto in una cellula tumorale viene ereditato anche dalle cellule che ne derivano dopo la replicazione, fatto che accelera la distruzione.

La massa di cellule da colpire viene sottoposta all'irradiazione in sedute successive, fino a ottenere una soddisfacente distruzione. Generalmente, con la radioterapia tradizionale il paziente è sottoposto a radioterapia ogni giorno per cinque giorni alla settimana, e per un numero di settimane che varia in funzione del tipo di malattia e delle dimensioni della massa. In ogni seduta il tumore assorbe una quantità di radiazioni di circa 2 gray (Gy). Questa unità di misura esprime appunto la quantità di radiazioni assorbite dall'organismo (in passato veniva utilizzata come unità di misura il rad: 1 gy equivale a 100 rad).

La radioterapia è utilizzata in oncologia in circa il 45-50 per cento di tutti i pazienti, associata ad altre terapie (la chirurgia, chemioterapia), o da sola, soprattutto quando la massa non è operabile chirurgicamente.

3. Il sottile confine tra il bene e il male nella radioterapia tradizionale

C'è uno storico problema nell'utilizzo della terapia radiante. L'obiettivo è quello della distruzione delle cellule tumorali: ciò richiede alte dosi radianti, che effettivamente riescono a inibire la crescita delle cellule tumorali e a determinarne l'involutione fino alla distruzione; queste cellule, inoltre, accumulano con maggiore facilità il danno prodotto rispetto ai tessuti sani, quindi anche con applicazioni successive e non continue, per esempio con una irradiazione ogni giorno. Il **bene**, dunque, è la capacità della radioterapia di agire efficacemente su queste cellule.

Il **male** è la contropartita della terapia: la massa tumorale è di solito compresa in altri tessuti sani, oppure adiacente a organi e tessuti sensibili che non possono tollerare la stessa dose di radiazioni senza che insorgano gravi danni.

Storicamente la radioterapia ha dovuto cercare, per rendere il più efficace possibile il risultato terapeutico, una adeguata conciliazione fra il bene e il male, ricorrendo a una serie di accorgimenti:

- limitare la dose – nelle terapie di masse tumorali situate in zone particolarmente delicate, il dosaggio radiante viene ridotto, preferendo attenuare la potenzialità terapeutica rispetto al rischio consistente di produrre effetti collaterali importanti; il risultato è un ridotto controllo locale.
- frazionare la terapia – somministrando una piccola quantità di dose radioattiva in una seduta quotidiana da ripetere per diversi giorni si ottiene il risultato di un adeguato accumulo di danno nelle cellule tumorali, mentre i tessuti circostanti recuperano parzialmente il danno nell'intervallo e riportano danni più contenuti. Questa è la ragione per cui la terapia radiante tradizionale richiede numerose sedute, anche 30-40 e oltre, per completare il ciclo di cura.

- concentrare la radioattività sul bersaglio – l'avanzamento tecnologico ha portato alla realizzazione di apparecchi di emissione radioattiva capaci di dirigere il fascio radiante verso un obiettivo mirato, quello appunto delle cellule da distruggere. Una concentrazione precisa non era però possibile senza margini di errore: sia per una relativa imprecisione della macchina, sia per il possibile spostamento della zona da irradiare, perché all'interno di un organo mobile (si pensi tipicamente al polmone) o perché spinto da organi adiacenti.
- attraversare i tessuti sani da diverse parti – per limitare l'irradiazione dei tessuti sani circostanti, i fasci raggiungono il bersaglio provenendo da diverse direzioni dello spazio. In altri termini, numerosi fasci, tutti separati tra loro, attraversano i tessuti sani in parti differenti prima di arrivare al bersaglio finale dove si concentrano ed esercitano la propria opera distruttiva in modo (relativamente) mirato.

Si intuisce pertanto che la terapia radiante tradizionale, pur fondamentale per il trattamento di certe forme tumorali, comporta pesanti effetti collaterali, nonché disagi pratici per il paziente, che è costretto a ripetute sedute, con conseguenti problemi organizzativi in termini di costi e liste di attesa.

4. Gli effetti collaterali della terapia radiante tradizionale

Una certa quantità di energia radiante viene assorbita anche dai tessuti sani attraversati da fasci diretti alla massa tumorale. Ciò può provocare pertanto danni a carico di questi tessuti. L'entità del danno dipende dall'organo, dalle dosi utilizzate, dalla precisione della radioterapia, dal numero di sedute, e in linea generale dalla decisione clinica – valutata caso per caso – di accettare un maggiore peso di effetti collaterali pur di raggiungere una maggiore efficacia terapeutica sulle cellule tumorali.

La cute mostra usualmente un eritema nelle aree di penetrazione delle radiazioni, alterazioni che però abitualmente regrediscono completamente.

La formazione di edema postirradiatorio nei tessuti molli circostanti all'area tumorale può rappresentare un problema rilevante soprattutto per sedi particolari, come il cervello, dove l'edema può provocare ipertensione endocranica.

Le gonadi (ovaie e testicoli) sono molto sensibili alle radiazioni, e ne deriva facilmente sterilità post-radiazioni.

La perdita dei capelli è una conseguenza abituale della terapia radiante sull'encefalo. Rispetto all'alopecia da chemioterapia, quella da terapia radiante è più spesso permanente.

La secchezza della bocca (xerostomia) complica spesso le terapie radianti dirette a masse tumorali localizzate nel collo e nel cavo orale, e possono costituire un fastidioso disturbo.

Il parenchima polmonare, il tubo gastroenterico in generale (in particolare l'intestino tenue), il fegato e i reni sono organi che mostrano danni anche per dosi relativamente basse di radiazioni.

Una generale sensazione di stanchezza accompagna sovente le sedute di radioterapia.

È ovvio che la realizzazione di apparecchiature particolarmente avanzate, capaci di concentrare con precisione il fascio radioattivo sulla zona tumorale risparmiando i tessuti circostanti, ha modificato in modo determinante l'utilizzo e le applicazioni della radioterapia, portandola da trattamento palliativo a terapia fondamentale e in certi casi prioritaria di diverse malattie tumorali.

5. Gli utilizzi della terapia radiante tradizionale

A causa dei suoi limiti di utilizzo legati agli effetti collaterali, la radioterapia tradizionale viene riservata a due condizioni principali:

- inoperabilità – in alcuni casi la massa tumorale non può essere eliminata chirurgicamente, è di difficile accesso, oppure si trova in zone molto delicate dove l'intervento chirurgico può risultare molto pericoloso; oppure ancora perché le condizioni del paziente sconsigliano il ricorso all'anestesia e all'intervento chirurgico.
- terapia palliativa – quando nessun'altra soluzione terapeutica è possibile, e in particolare se la lesione tumorale produce dolore o altri sintomi, oppure comprime strutture vicine producendo altri disturbi o rischi, la radioterapia è una risorsa indicata.

6. La svolta della terapia radiante guidata dalle immagini (IGRT)

Fino alla fine degli anni '70, non essendo ancora disponibile la tomografia computerizzata, il radioterapista non aveva alcuna possibilità di "vedere" il volume tumorale da colpire; non restava quindi che irradiare con la stessa dose un volume anatomico (scavo pelvico, mediastino, rinofaringe) con tutto il suo contenuto: volume tumorale e organi sani.

L'avvento della Tac e dei primi computer destinati a ricostruire la distribuzione della dose all'interno del corpo umano ha portato a poter vedere il bersaglio (volume tumorale) e le strutture sane da rispettare.

Un'ulteriore evoluzione e' rappresentata dalla **3D-CRT** (radioterapia tridimensionale conformazionale). Mediante questa tecnica il volume tumorale viene ricostruito in tre dimensioni e assieme ad esso quello degli organi critici circostanti. Un idoneo computer (TPS, treatment planning system) consente di valutare la distribuzione tridimensionale della dose sia al bersaglio tumore che agli organi critici, ottenendo la ripartizione fra queste due diverse strutture, una da colpire, l'altra da rispettare. Si possono così esaminare gli istogrammi dose-volume del tumore che deve essere coperto con il cento per cento della dose, e degli organi critici che non devono superare la dose di tolleranza.

Una ulteriore evoluzione di questa tecnologia è quella della radioterapia a modulazione di intensità (Intensity Modulated, RadioTherapy, **IMRT**), che aggiunge la possibilità di variare l'intensità della dose all'interno della stessa zona tumorale, adattandosi meglio alla forma della massa tumorale anche in situazioni particolarmente delicate: per esempio quando il tumore poggia sul midollo spinale e necessita della distribuzione della dose molto conformata.

La progettazione raffinata in 3D e con IMRT potrebbe già aver raggiunto l'eccellenza delle possibilità di impiego della radioterapia; ma rimane ancora un grande margine di incertezze. Questa progettazione deve infatti essere puntualmente riprodotta, quotidianamente, su un paziente con la certezza di un riposizionamento assolutamente identico (al millimetro) a quello della progettazione, e con la certezza che il nostro volume bersaglio si trovi quotidianamente e durante il trattamento nella posizione che è stata "ssata" nelle immagini Tac di progettazione.

Gli organi e il tumore ad essi collegati mostrano invece frequentemente una mobilità (respiratoria, pulsazioni arteriose, peristalsi).

Inoltre le determinazioni morfologiche della massa tumorale all'inizio della prima seduta di radioterapia non sono probabilmente le stesse nelle sedute successive. Si ripresenta pertanto l'inconveniente di non trasferire nella esecuzione pratica la elevata sofisticazione della progettazione.

Questi due fattori (incertezza di riposizionamento e mobilità d'organo) rischiano di rendere addirittura pericolosa l'alta precisione del progetto di trattamento.

Diviene perciò necessario, nella pratica usuale, "allargare" i volumi di trattamento per compensare errori e mobilità, perdendo così parzialmente i vantaggi ottenuti attraverso una così precisa localizzazione del bersaglio e degli organi critici.

È su questo punto che oggi si introduce una vera svolta attraverso la IGRT (radioterapia guidata delle immagini).

Macchine progettate per questo scopo (per es. Tomotherapy e acceleratori con cone-beam TC) consentono, prima di ogni trattamento e dopo aver riposizionato il paziente, di "vedere" il tumore, correggere il posizionamento del paziente e/o le modalità di erogazione del fascio di irradiazione in modo da riprodurre al millimetro il progetto di trattamento, durante tutte le fasi della sua esecuzione ART (adaptive radiation therapy).

Questo adattamento alle variazioni nel tempo viene considerata la quarta dimensione, ossia il tempo della visualizzazione del tumore da trattare con la radioterapia.

La moderna radioterapia guidata dalle immagini offre quindi **vantaggi** concreti:

- maggiore precisione di irraggiamento nella sede tumorale
- riduzione dei rischi di irraggiamento indesiderato nei tessuti vicini
- conseguente minore incidenza degli abituali effetti collaterali legati alla radioterapia tradizionale
- possibilità di utilizzare dosi radianti più elevate, con maggior efficacia terapeutica
- estensione delle applicazioni terapeutiche a un numero maggiore di tumori, talvolta anche alternative alla chirurgia
- considerevole riduzione del numero di sedute di trattamento, con grande beneficio per il paziente in termini di disagi, costi, qualità di vita.

7. Le indicazioni per la terapia radiante guidata dalle immagini (IGRT)

La rivoluzione tecnologica portata dalla IGRT ha modificato sostanzialmente le possibilità di trattamento, ampliando le possibilità della cosiddetta radiooncologia e aprendo indicazioni di trattamento prima non esistenti o sconsigliate.

La radioterapia si presenta quindi oggi come opportunità terapeutica concreta, talvolta prioritaria, e non più come soluzione palliativa o limitata a casi particolari. La finalità della moderna terapia radiante è quindi l'**eradicazione** della massa tumorale, anche se localizzata vicino a strutture critiche.

Molti tumori della prostata possono essere trattati mediante IGRT + IMRT, con un numero di sedute circa dimezzato rispetto a quelle richieste dalla radioterapia tradizionale.

Il trattamento radiante può sostituire l'escissione chirurgica e quindi gli usuali pesanti effetti collaterali della chirurgia, primo fra tutti l'impotenza.

I tumori del polmone di primo e secondo stadio non operabili costituiscono un'altra indicazione elettiva alla IGRT: in alcuni paesi, come il Giappone, questa tecnica è considerata lo standard procedurale di riferimento, quindi prioritario rispetto alla chirurgia o alla chemioterapia.

Le lesioni tumorali del fegato erano prima intoccabili dalla radioterapia; sono invece trattabili con efficacia mediante IGRT.

Anche per il pancreas la tradizionale radioterapia era scarsamente efficace, data la contiguità con organi critici. La nuova IGRT ha superato questo limite includendo i tumori del pancreas fra le indicazioni elettive.

Per quanto riguarda i tumori dell'encefalo, il grande vantaggio offerto dall'IGRT riguarda i tumori della base cranica, situati quindi in una zona delicatissima e assolutamente controindicati alla terapia radiante tradizionale.

In linea generale, qualsiasi altra lesione tumorale che non può essere raggiunta chirurgicamente si presta al trattamento efficace con l'IGRT.

Allegati

Radiazioni X e gamma e il loro impiego in medicina: cenni storici

È a **Wilhelm Conrad Roentgen** che viene fatto risalire ufficialmente l'inizio della storia degli studi sulle radiazioni ionizzanti. Roentgen, fisico tedesco, identificò in particolare le radiazioni prodotte dagli elettroni che si muovono in un tubo a vuoto, quando sono applicate differenze di potenziale molto alte.

Roentgen le denominò raggi X, ad indicare che erano radiazioni sconosciute mai descritte prima. Ne evidenziò le potenzialità di interesse per la medicina in modo estremamente convincente: insieme alla relazione tecnica dei suoi studi, destinata alla pubblicazione, inviò l'immagine radiografica di una mano della moglie, destinata a diventare la prima radiografia della storia.

Negli anni successivi **Antoine Henri Becquerel** (1896) e i coniugi **Marie e Pierre Curie** (1898) descrissero un altro tipo di radiazioni ionizzanti, quelle da decadimento di elementi radioattivi (raggi gamma). Becquerel lavorò in particolare sui composti di uranio, i Curie sul radio.

Sia Roentgen che Becquerel e i Curie intuirono subito le potenzialità delle radiazioni X e gamma per la medicina: da una parte la loro capacità di penetrare i tessuti poteva essere sfruttata per produrre immagini delle strutture interne (diagnostica), dall'altra la loro citotossicità, opportunamente dosata, avrebbe consentito di sostituire la chirurgia in casi particolari.

Prime applicazioni terapeutiche

Una delle prime applicazioni terapeutiche ufficialmente riconosciute è quella condotta dal medico viennese **Leopold Freunde**, che nel 1896 trattò con raggi X una giovane paziente affetta da una vistosa lesione (un nevo peloso) sulla cute del dorso.

Altre esperienze su lesioni cutanee furono condotte negli anni successivi con i raggi gamma: la qualità dell'esito non fu sempre soddisfacente, soprattutto perché non era stato ancora definito un metodo per dosare opportunamente l'irraggiamento.

Il salto di qualità arrivò con il lavoro del medico francese **Claudius Regaud**, dopo il 1918.

Forte di anni di studi sugli effetti biologici delle radiazioni su modelli animali, Regaud definì in modo sistematico un metodo per dosare opportunamente le radiazioni, migliorò

gli apparecchi emettitori e mise a punto dispositivi di schermatura per preservare i tessuti vicini alla zona trattata.

L'impiego nell'oncologia

Con il miglioramento tecnologico e un maggiore controllo delle dosi di radiazioni emesse, nei decenni successivi al lavoro di Regaud si iniziarono a trattare con i raggi gamma non solo lesioni cutanee ma anche masse tumorali più profonde.

Negli anni '50 furono prodotte macchine a radiazioni gamma che utilizzavano la radioattività naturale del cobalto 60.

Parallelamente al trattamento con i fasci irradiati dall'esterno, si sperimentò anche la brachiterapia, che utilizza le radiazioni gamma emesse da sorgenti radioattive (contenenti iridio 192 o cesio 137) poste vicino alla lesione, inserite nel lume di organi cavi o impiantate nel tessuto. La brachiterapia venne applicata estesamente soprattutto a partire dagli anni '60.

L'ultima fase storica della radioterapia a fasci esterni ha inizio dalla metà degli anni '70, quando si diffondono in Europa gli acceleratori lineari: queste macchine emettono radiazioni X ad alta energia (con lunghezza d'onda di poco superiore a quella dei raggi gamma) senza impiegare sorgenti radioattive.

La sostanza delle moderne apparecchiature è la medesima, ma alcune modifiche tecniche, lo sviluppo della diagnostica per immagini e soprattutto l'informatizzazione hanno permesso di ottenere trattamenti sempre più tollerabili.

Oggi è possibile modulare l'intensità e la direzione del fascio in base a forma, posizione e volume del tumore, ma anche dei tessuti che lo circondano.

L'obiettivo che guida il miglioramento tecnologico degli apparecchi è semplice: a parità di radiazioni che colpiscono il tumore ridurre quelle che giungono ai tessuti sani, per ridurre gli effetti indesiderati della terapia.

Biografia

Franco Casamassima

Professore ordinario di diagnostica per immagini e radioterapia al dipartimento di fisiopatologia clinica all'Università di Firenze.

Franco Casamassima è considerato una delle autorità di maggiore rilievo in Italia nella radiooncologia.

Nato a Perugia, dove ha studiato e dove si è laureato, ha cominciato presto la sua carriera nel capoluogo toscano, specializzandosi in radiologia e radioterapia nel 1969 e diventando già l'anno dopo assistente ordinario all'università di Firenze.

Dirige inoltre dal 1988 l'unità operativa di radiobiologia clinica dell'università, collocata nella Casa di Cura Santa Chiara di Firenze.

È autore di 140 pubblicazioni su argomenti di radioterapia, radiobiologia e diagnostica oncologica su riviste nazionali ed internazionali.

È membro dell'American Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ASTRO), dell'European Society of Radiation Oncology (ESTRO), della Associazione italiana di radioterapia oncologica (AIRO) nel cui consiglio direttivo è stato eletto consigliere.

È membro della CyberKnife Society e partecipa come consulente alla attività clinica del Centro CyberKnife dell'Ospedale di Vicenza per i trattamenti di radiochirurgia extracranica.

Sposato, ha tre figli, tutti laureati (uno medico e specializzandosi in diagnostica per immagini). Si occupa personalmente, nei fine settimana, di una piccola tenuta agricola in Umbria.

Elekta Synergy®

Elekta Synergy® è un apparecchio per radioterapia conformazionale IMRT (Intensity modulation radiation therapy) integrato con un sistema di registrazione delle immagini ad alta qualità (cone-beam TC).

La progettazione del piano di cura radioterapica tridimensionale si avvale quindi di immagini anatomomorfologiche derivate dall'impiego della Tac, con cui è oggi possibile fondere con appositi software altri tipi di informazioni funzionali (scopia in risonanza magnetica) o metaboliche come la Pet (tomografia ad emissione di positroni)

Il sistema Elekta Synergy® permette di registrare all'acceleratore una Tac volumetrica (cone beam-TC) prima di ogni trattamento, e confrontarla con la TC di progettazione per un perfetto riposizionamento del paziente, valutare con l'impiego della funzione *motion view* gli spostamenti respiratori del volume bersaglio che il sistema ABC (active breathing control) permette di controllare.

Si giunge così a irradiare, dopo un esatto riposizionamento del paziente, il target di ogni giorno ("adaptive radiotherapy").

La qualità del trattamento radioterapico dipende, in sintesi, dalla disponibilità di tecnologie che consentono di:

1. dirigere il fascio secondo angolazioni ottimali seguendo la forma del tumore (conformazionalità);
2. modulare l'intensità in modo da rilasciare dosi diverse a subvolumi del tumore che lo richiedano e mantenere sotto la soglia di tolleranza la dose ricevuta dagli organi critici (sani);
3. localizzare con precisione la massa bersaglio intrafrazione ed interfrazione.

La tecnologia X-ray Volume Imaging: l'obiettivo della precisione

La caratteristica della precisione nel localizzare il tumore è stata ulteriormente potenziata in Elekta Synergy® grazie all'integrazione della tecnologia IMRT con un sistema per la registrazione di immagini Tac ad alta qualità, per un preciso riposizionamento del paziente (interfrazione) e localizzazione del volume tumorale (interfrazione ed interfrazione).

Ciò risponde all'esigenza di irradiare con maggiore precisione, rispetto ai sistemi IMRT standard, i tumori all'interno di organi soggetti a naturale mobilità (polmoni, prostata, fegato, pancreas). Diversamente da quelli in sede intracranica, i tumori in sede toracica, addominale o pelvica possono essere infatti soggetti a spostamenti sensibili, anche da una seduta terapeutica all'altra.

Il sistema di registrazione di immagini XVI (X-ray volume imaging) impiegato da Elekta Synergy® consente di valutare, all'inizio di ogni seduta terapeutica, forma, posizione e volume della massa da trattare con un'accuratezza paragonabile a quella di una Tac.

Le impostazioni dell'apparecchio (angolazione, traiettorie, intensità) possono essere pertanto corrette a ogni applicazione per ottenere un irraggiamento ottimale per la condizione del paziente in quel particolare momento.

Inoltre la tecnologia "active breath coordinator" consente con la collaborazione del paziente di irradiare un bersaglio "fermato" nei suoi movimenti respiratori.