



**UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA**

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO di MEDICINA - DIMED

**CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN "TECNICHE DI RADIOLOGIA MEDICA,
PER IMMAGINI E RADIOTERAPIA"**

Sede di Treviso

Presidente: Prof. Roberto Stramare

Tesi di Laurea:

RUOLO DEL TECNICO DI RADIOTERAPIA NELLA GESTIONE DELLE IMMAGINI IGRT

Relatore: Dott. Gava Alessandro

Laureando: Battistella Nicola

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

1. ABSTRACT.	3
2. INTRODUZIONE.	5
3. SCOPO DELLA TESI.	7
4. L'EVOLUZIONE DELLA RADIOTERAPIA: DALLE ORIGINI AD OGGI.	9
4.1 <i>La radioterapia alla fine del XIX secolo</i>	9
4.2 <i>Sviluppi successivi</i>	10
4.3 <i>Avanzamento tecnologico</i>	11
5. IL RUOLO DELLA IGRT NELLA RADIOTERAPIA DI PRECISIONE.	19
5.1 <i>Caratteristiche dei sistemi IGRT</i>	22
5.2 <i>Tipologie di IGRT</i>	25
IGRT ad ultrasuoni	25
Sistemi a base fotografica	26
IGRT ad immagini portali	27
IGRT CT con fascio conico	29
IGRT nei sistemi di immagine tomoterapici	31
IGRT con sistemi CT su rotaia	33
IGRT con sistemi CyberKnife	34
Radioterapia 4D	36
MR IGRT	37
5.3 <i>Principali limiti della RT a guida d'immagine</i>	39
6. NORMATIVA SUL RUOLO DEL TSRM NELLA GESTIONE DELLE IMMAGINI.	41
6.1 <i>Ruolo del tecnico</i>	42
6.2 <i>Responsabilità professionale</i>	47
6.3 <i>Considerazioni finali</i>	49
7. PROTOCOLLI DI GESTIONE DELLE IMMAGINI IN RADIOTERAPIA ONCOLOGICA A TREVISO.	51
8. BIBLIOGRAFIA.	61

1. ABSTRACT.

La Radioterapia a Guida d'Immagini (IGRT) rappresenta una pietra miliare nell'evoluzione del trattamento radiante, consentendo una precisione senza precedenti nella somministrazione di quest'ultimo e risulta oggi come standard di riferimento per il trattamento di molteplici tipologie di lesioni.

Il tecnico di radioterapia, figura operante all'interno del team multidisciplinare radiooncologico, risulta fondamentale nel processo di trattamento con metodiche IGRT, essendo strettamente coinvolto nelle fasi di acquisizione, elaborazione e verifica delle immagini diagnostiche, oltre che nelle tecniche di posizionamento utilizzate durante il trattamento radioterapico. La capacità di acquisire immagini di alta qualità e di interpretarle correttamente risulta essenziale per garantire al paziente di ricevere una dose radiante precisa e mirata al tumore, minimizzando il danno ai tessuti circostanti.

La situazione normativa italiana in merito all'autonomia del tecnico di radioterapia nella gestione delle immagini IGRT e dei workflow associati, risulta attualmente caratterizzata da una mancanza di chiarezza e direttive univoche, risultando non armonizzata con le indicazioni europee di potenziamento delle competenze dei tecnici di radiologia, dettate dalla costante ed inarrestabile evoluzione tecnologica caratteristica di questo settore che conferisce al tecnico di radioterapia un ruolo chiave nella gestione del workflow.

Nonostante l'assenza di linee guida in Italia indicanti in maniera chiara le possibilità d'autonomia del tecnico, mediante il sondaggio AITRO (Associazione Italiana Tecnici di Radioterapia Oncologica) è risultato che insieme alla componente medica il tecnico risulti essere una figura chiave nella supervisione e controllo delle immagini IGRT, essendo questa pratica definita come un confronto tra immagini senza fini diagnostici o di gestione del trattamento; l'idea di affidare ai tecnici di radiologia il controllo e la supervisione delle immagini IGRT risulterebbe vantaggioso in quanto riuscirebbe a favorire una maggiore efficienza operativa, oltre che una migliore gestione del workflow nell'unità di radioterapia che si traduce così in tempi d'attesa più brevi per i pazienti, in una minor possibilità di spostamenti involontari e in una riduzione delle possibili interruzioni durante il trattamento. Nonostante tale possibilità di sviluppo attualmente non esiste una legge chiara a riguardo e si fa riferimento al DM 746/94 il quale afferma che la figura tecnica deve agire «secondo

protocolli diagnostici e terapeutici preventivamente definiti dal responsabile della struttura», sottolineando l'assenza di univocità nella autonomia del tecnico, nonostante la crescente preparazione offerta dai corsi di laurea con tirocini formativi che devono assicurare le competenze necessarie per assolvere questi nuovi compiti.

Tale situazione risulta spiegabile dal particolare contesto nel quale si trova attualmente il tecnico, risultando arretrato nell'ambito della ricerca rispetto agli studi della controparte medica, nonostante i continui sviluppi tecnologici e la maggior autonomia concessa dalle figure mediche nei diversi centri di trattamento andando ad inficiare la creazione di nuovi e più aggiornati protocolli.

Per tale ragione si sottolinea l'importanza di definire protocolli operativi ottimizzati che includano anche il ruolo del TSRM e stabiliscano i margini di tolleranza per le diverse procedure IGRT, indicando inoltre i diversi livelli di azione da adottare in caso di deviazioni dalla tolleranza accettabile.

In conclusione, si evidenzia la necessità di sviluppare linee guida condivise tra le società scientifiche e professionali al fine di definire chiaramente le competenze dei TSRM nell'interesse di fornire trattamenti radioterapici moderni ed efficaci ai pazienti oncologici in Italia.

2. INTRODUZIONE.

La radioterapia guidata dall'immagine rappresenta una tecnica avanzata di recente implementazione, impiegata nella verifica del trattamento radiante, la quale consente la comparazione tra l'insieme di immagini ottenute durante la fase di simulazione ed il set acquisito in concomitanza al trattamento al fine di incrementare la precisione e l'efficacia di quest'ultimo, mediante la possibilità di attuare eventuali anche piccole correzioni.

L'ampia diffusione e l'utilizzo crescente negli ultimi anni di questa metodica hanno portato allo sviluppo di numerose varianti, ciascuna con specifiche caratteristiche. Tra le principali e più comunemente utilizzate troviamo: IGRT ad immagini portali, CT IGRT a fascio conico, IGRT con sistema CT su rotaia, insieme e altre tecnologie implementate su particolari acceleratori quali Cyber Knife, Tomotherapy, MR LINAC, apparecchi per adroterapia.

Questo approccio rappresenta un significativo passo avanti nel trattamento tumorale, consentendo ai medici di concentrare la dose di radiazioni con precisione millimetrica sul tumore, minimizzando al contempo i danni alle strutture sane circostanti migliorando la tolleranza e il benessere del paziente durante l'intero processo di trattamento.

3. SCOPO DELLA TESI.

L'ampia diffusione della radioterapia a guida d'immagine ha permesso di ottenere un grande miglioramento per quanto riguarda il trattamento radio-oncologico, che si traduce in minor tasso di complicanze per il paziente. Il grande vantaggio apportato da tale metodica nel trattamento comporta però in un significativo aumento del carico di lavoro per i tecnici di radioterapia, adibiti alla gestione operativa delle unità di trattamento munite di tale tecnologia, incrementando lo stress e la pressione lavorativa, legate alla complessità di tale metodica soprattutto per quanto concerne la supervisione e il controllo delle immagini, le decisioni che ne conseguono e per l'incremento della durata di ogni singolo trattamento.

Per tali ragioni lo scopo di questa tesi sarà quello di esaminare l'attuale ruolo del tecnico nella gestione delle immagini IGRT, mediante un confronto tra la realtà nazionale ed internazionale e determinare quali possono essere i diversi gradi di autonomia decisionale attribuibili a tale figura.

4. L'EVOLUZIONE DELLA RADIOTERAPIA: DALLE ORIGINI AD OGGI.

L'utilizzo di radiazioni ionizzanti per il trattamento di tumori risale alla fine del XIX secolo, successivamente alla scoperta di Roentgen, il quale descrisse i raggi X nel 1895. Tale scoperta segnerà l'inizio di uno sviluppo tecnologico-procedurale che durerà per l'intero XX secolo, formando le basi dell'odierno metodo di trattamento oltre che a scoprire, errore dopo errore, nuove tecniche applicabili per il raggiungimento di un migliore risultato terapeutico. Tra gli sviluppi più importanti possiamo citare il frazionamento della dose, l'avanzamento tecnologico nell'erogazione e produzione del fascio radiante, il miglioramento nell'immagine riguardante il planning di trattamento e l'avanzamento dei modelli predittivi riguardanti l'evoluzione tumorale e di come la terapia si debba conformare ad esso.

4.1 La radioterapia alla fine del XIX secolo

Il primo uso terapeutico dei raggi X per il trattamento di condizioni patologiche avvenne subito dopo la scoperta fatta da Roentgen, concentrandosi principalmente nella cura di condizioni benigne come il lupus e l'eczema. Solamente 7 mesi dopo la scoperta venne descritto da Victor Despeignes il primo beneficio successivo ad un trattamento con raggi X su un paziente affetto da carcinoma gastrico, notando subito una diminuzione della massa tumorale e della sintomatologia ad esso collegata. Successivamente si assisterà al primo trattamento di un tumore profondo, un sarcoma maligno dell'addome, trattato a New Haven da Clarence Skinner riscontrando anche in questo caso esiti positivi. Nel 1899 Emil Grubbe trattò a Chicago con le radiazioni una paziente affetta da cancro al seno e nello stesso anno lo svedese Tor Stenbeck pubblicò i risultati dei primi trattamenti applicati con successo su un epiteloma ulcus rodens del naso.

Molte patologie e tumori in questo periodo di tempo vennero trattati senza un'effettiva efficacia, causando spesso un significativo danno tissutale alle strutture poste in prossimità; tutto ciò era dovuto principalmente all'utilizzo di raggi X a bassa energia, accompagnato dalla scarsa esperienza e della mancata conoscenza delle dinamiche radiobiologiche che governano le interazioni tra materiale vivente e radiazioni ionizzanti.

Durante gli ultimi anni del XIX secolo ed i primi anni del XX secolo si è assistito ad un rapido sviluppo, dovuto principalmente alla scoperta di Antoine-Henri Becquerel, professore di fisica a Parigi, il quale fu il primo a riconoscere la radioattività emessa spontaneamente da sorgenti naturali mentre lavorava con sali di uranio nel proprio laboratorio. Da notare come nello stesso periodo temporale avvenne un ulteriore fondamentale evento, ovvero la scoperta da parte dei coniugi Curie, degli elementi chimici radio e polonio e della radioattività artificiale.

L'intuizione di utilizzare questi nuovi elementi radioattivi per il trattamento tumorale avvenne anche in questo caso grazie a Becquerel. Tale scoperta avvenne nei primi anni del 1900, successivamente a severe "bruciature cutanee", causate dall'accidentale contatto per 14 giorni consecutivi con un tubo di Radio rimasto nella tasca del proprio abito. Ciò portò in Austria nel 1902 al primo utilizzo di sorgenti di radio per il trattamento di un carcinoma faringeo, ottenendo risultati positivi per gli standard dell'epoca.

Conseguentemente a ciò, nel 1904 a New York iniziarono ad essere trattati i primi pazienti con impianti di radio sottoforma tubulare direttamente in sede tumorale; ciò permise di stendere le basi della futura brachiterapia, ovvero il trattamento con fascio radiante posto all'interno del tumore; da qui scaturì un'intensa campagna di marketing per l'utilizzo del radio, il quale entrò a far parte di molti prodotti ed applicazioni sanitarie.

4.2 Sviluppi successivi

Nelle prime decadi del XX secolo, le radiazioni vennero usate per trattare una sempre crescente gamma di condizioni maligne come, ad esempio, il tumore al seno o il tumore alla cervice uterina, dimostrando fin da subito la versatilità di possibilità terapeutiche che la radioterapia consentiva e questo favorì una crescente considerazione positiva del trattamento radiante all'interno della comunità medico scientifica dell'epoca, favorendone una graduale diffusione.

L'iniziale metodica radioterapica si caratterizzava per il trattamento eseguito mediante una singola e prolungata esposizione, collocando un tubo radiologico erogante un fascio radiante a bassa energia in prossimità della sede tumorale. Nella maggior parte dei casi il tumore non veniva eradicato completamente e spesso si verificavano estesi danni ai tessuti vicini. Questo

iniziale problema portò la comunità scientifica a concentrare i propri sforzi per la ricerca di nuove tecnologie e metodiche necessarie ad aumentare il tasso di successo del trattamento, oltre che a ridurre gli effetti collaterali radioindotti subiti dal paziente per l'utilizzo di radiazioni a bassa energia.

Fondamentale sarà la scoperta effettuata da Claudius Regaud nel 1911, il quale notò che i testicoli dell'ariete potevano essere sterilizzati senza causare massive bruciature alla sacca scrotale, solo se l'irradiazione avveniva frazionando la dose in un arco temporale di 15 giorni; ciò permise di arrivare all'intuizione del frazionamento della dose nei trattamenti, permettendo di somministrare dosi maggiori al tumore riducendo il danno subito dal paziente.

Da queste osservazioni avvenne la diffusione dell'utilizzo di trattamenti a bassa dose per frazione, caratterizzati per esser somministrati per periodi temporali più lunghi in molteplici sessioni, rispetto alla tendenza dell'epoca, ovvero di trattare con un numero ridotto di sedute con utilizzo di tempi di irraggiamento maggiori; si passò così alla graduale sostituzione del vecchio metodo di trattamento a favore dell'esecuzione frazionata.

Questo permise un'importante passo in avanti nella sicurezza ed efficacia del trattamento radioterapico, che diventò una pratica fondamentale nella terapia oncologica.

4.3 Avanzamento tecnologico

La più grande limitazione nell'erogazione del trattamento radiante presente all'epoca risultava nella mancanza di tecnologie abbastanza sviluppate da permettere la produzione di radiazioni ionizzanti ad energia sufficientemente elevata da raggiungere in maniera ottimale il target tumorale profondo. Infatti, i

tubi radiologici a bassa potenza (intorno 100keV), risultavano essere l'unico macchinario a disposizione per l'erogazione di un fascio fotonico, caratterizzato da un enorme assorbimento di dose da parte dei tessuti sani superficiali posti tra il tumore e la sorgente radiante, con inevitabili e significativi danni tissutali e l'impossibilità di eseguire trattamenti più complessi. Di fatto l'utilizzo di un tubo radiologico per l'erogazione di radiazioni permetteva il trattamento unicamente di lesioni poste in posizioni poco profonde o superficiali.

I tentativi di superare questi limiti legati alla bassa energia consentita da tali attrezzature condussero alla nascita delle prime tecniche utilizzate per l'indurimento del fascio, che consistevano nel posizionamento di sottili fogli metallici per bloccare la componente a più bassa energia del fascio erogato e l'impiego di particolari griglie che riducevano la dose della porzione cutanea irradiata giornalmente.

Un altro significativo progresso fu l'irradiazione del tumore mediante fasci multipli diretti sul volume neoplastico ma con ingresso in zone differenti della superficie corporea, per mantenere costante la dose nella sede del trattamento, creando però molteplici siti di accesso del fascio senza concentrare l'intera componente a bassa energia su una singola porzione cutanea, riducendo così gli effetti indesiderati derivanti dal trattamento radiante.

Durante il secondo conflitto mondiale si assistette ad un progressivo rallentamento degli studi e delle ricerche in ambito radioterapico ma senza un effettivo blocco; infatti, alla fine delle ostilità avvenne una rapida ripresa accompagnata da un crescente entusiasmo.

Grazie a Ralston Paterson e ai medici e fisici della Scuola di Manchester, si avrà negli anni 50 un grande sviluppo della dosimetria con grandi vantaggi nella precisazione della dose erogata.

Nel 1951 fu realizzata la prima unità di Telecobaltoterapia che utilizzava un isotopo radioattivo del cobalto-59, ovvero il cobalto-60 che emetteva fotoni gamma con energia di 1.35 MeV nettamente superiore rispetto ai tubi Coolidge. Il relativo basso costo e la disponibilità dei materiali favorì la diffusione di questa metodica, incentivando inoltre la ricerca scientifica e tecnologica in tale ambito

Arrivarono successivamente acceleratori di elettroni quali i betatroni prima e gli acceleratori lineari poi, con la possibilità di impiegare fasci radianti con energie ancora superiori (da 4 a decine di MeV).

Gli acceleratori lineari (LINAC) sono oggi le attrezzature standard utilizzate nella moderna radioterapia per la cura dei tumori permettendo l'erogazione di fasci ad alta energia.

Nelle recenti decadi lo sviluppo in ambito radioterapico ha riguardato principalmente l'avanzamento tecnologico dell'informatica e dell'imaging. In particolare, l'utilizzo di immagini tomografiche, RM, PET e i programmi di ricostruzione tridimensionale per l'impostazione del planning radioterapico, hanno permesso una miglior definizione dei volumi bersaglio e nello stesso tempo degli organi critici, incrementando la capacità di irradiare in maniera omogenea e precisa aree anatomiche dalla complessa morfologia e conformazione. L'avvento della PET ha reso possibile un trattamento radioterapico ancora più selettivo, individuando un volume bersaglio non solo morfologico, ma anche biologico - funzionale.

Un ulteriore progresso è arrivato con i collimatori multilamellari montati sulla testata della macchina erogante, con decine di lamelle controllate in maniera indipendente le une dalle altre mediante motori a regolazione computerizzata, che permettono la creazione di un fascio dalla forma estremamente controllata e personalizzata e che consentono una ancora più evoluta conformazione dei fasci radianti; questi collimatori che permettono di realizzare la radioterapia conformazionale tridimensionale, costituiscono la premessa per le successive tecniche a intensità modulata.

La Radioterapia con modulazione di intensità (IMRT) si basa sull'impiego di fasci di radiazioni non uniformi, con intensità differenti prodotte mediante la suddivisione del fascio radiante in molteplici piccoli segmenti, modificati in tempo reale, permettendo così un'intricata e complessa modulazione di ogni microcomponente strutturante il fascio radiante, permettendo un'implementazione della distribuzione dosimetrica in base alle diverse richieste cliniche. Le tecniche IMRT sono molto più complesse di quelle tradizionalmente impiegate e permettono di ottenere un grado più alto di conformazione della dose e di risparmio dei tessuti sani.

Un'ulteriore evoluzione della IMRT è rappresentata dalla Tomoterapia, una tecnica che utilizza un acceleratore lineare montato su un "gantry" circolare simile a quello utilizzato nelle metodiche di imaging CT che, per mezzo di un mini-collimatore multilamellare, emette uno stretto fascio di radiazioni "a fessura" di intensità variabile, mentre la testata (gantry) ruota attorno al paziente.

L'utilizzo della IORT (Intraoperative Radiation Therapy) pone le proprie radici oltre cento anni fa, quando furono condotti i primi studi sull'impiego di pratiche radioterapiche durante l'intervento chirurgico. Tuttavia, è negli anni '60 che l'approccio alla IORT venne avviato in modo più sistematico da Abe in Giappone, il quale introdusse l'idea di combinare la resezione chirurgica con un'alta dose di radiazioni erogata in singola frazione mediante l'utilizzo di cobalto-60 durante l'intervento.

Negli anni '70, molte istituzioni negli Stati Uniti adottarono la IORT come parte integrante del trattamento oncologico, soprattutto con funzione di erogazione di dose boost.

Importante fattore che limitò inizialmente la diffusione della IORT fu principalmente l'aspetto logistico derivante dallo spostamento del paziente dalla sala operatoria al bunker di radioterapia e tale problema venne risolto mediante la progettazione di compatte apparecchiature mobili dedicate che grazie alle ridotte dimensioni si potevano allocare in sala operatoria per erogare il trattamento direttamente all'interno della struttura chirurgica. Alcuni dei centri pionieri nell'implementazione della IORT includono la Howard University, il Massachusetts General Hospital (MGH), la Mayo Clinic e il National Cancer Institute (NCI).

Negli ultimi anni, le linee guida del National Comprehensive Cancer Network hanno incluso la IORT come opzione terapeutica per diverse condizioni, tra cui sarcomi dei tessuti molli, carcinoma pancreatico, malattia intraddominale con alto tasso recidivante, tumore della mammella in fase precoce e cancro del retto.

Attualmente, ci sono circa 90 centri in almeno 16 paesi in tutto il mondo che offrono programmi attivi di IORT. Questo dimostra l'interesse e l'efficacia di questa modalità terapeutica nel trattamento di diverse patologie tumorali.

In conclusione, la IORT è una tecnica consolidata nel campo dell'oncologia e ha dimostrato di offrire vantaggi significativi in termini di precisione del trattamento e riduzione degli effetti collaterali. L'evoluzione della IORT nel corso degli anni ha portato a una sua crescente adozione in tutto il mondo, offrendo un'opzione terapeutica aggiuntiva per i pazienti affetti da diverse forme di tumore.

La radiochirurgia stereotassica è una metodica radioterapica introdotta verso la metà del XX secolo dal neurochirurgo svedese Lars Leksell, per il trattamento di piccoli bersagli intracranici, non trattabili con metodiche chirurgiche convenzionali. Negli anni 50 venne sviluppata una speciale unità a cobalto denominata Gamma Knife presso il Karolinska

Institute. Il Gamma Knife si caratterizza per l'impiego di 201 sorgenti di Cobalto 60, montante su un telaio semicircolare fisso, esterno al cranio, che comporta la realizzazione di campi fissi multipli con diverse angolazioni (archi multipli pendolari), focalizzati a livello dell'isocentro tumorale, che permettono la creazione di un danno tissutale estremamente preciso e controllato, con un effetto tumoricida molto preciso e definito.

L'invenzione del Gamma Knife da parte di Lars Leksell rappresentò un importante passo avanti nella radioterapia stereotassica e nel 1997, il neurochirurgo statunitense John R. Adler mise a punto una tecnologia ulteriormente evoluta con la creazione del sistema di radiochirurgia stereotassica robotizzata noto come CyberKnife.

Il CyberKnife è caratterizzato dalla presenza di un acceleratore lineare di dimensioni compatte e dal peso ridotto, montato su un braccio robotizzato dotato di grande mobilità, che permette una straordinaria flessibilità del sistema arrivando fino a sei gradi di libertà, con la possibilità di infinite angolazioni dell'acceleratore, incrementando le possibilità di direzione dei fasci pennellati di radiazioni e incrementando la precisione del trattamento.

Una delle caratteristiche più sorprendenti del CyberKnife risulta la sua capacità di non richiedere la stessa immobilizzazione rigida rispetto ad altri sistemi di radioterapia stereotassica. Infatti, pratica comune nei trattamenti stereotassici, risulta esser l'estrema immobilizzazione alla quale è soggetto il paziente per evitare anche il minimo movimento durante la somministrazione radiante; infatti, il CyberKnife risulta in grado di adattarsi e compensare i piccoli movimenti del paziente in tempo reale. Questo si traduce in un posizionamento del paziente più confortevole e meno restrittivo.

Grazie a questa combinazione di caratteristiche, il CyberKnife ha rivoluzionato la radioterapia stereotassica, consentendo trattamenti altamente mirati in molte parti del corpo, senza la necessità di procedure chirurgiche invasive o immobilizzazioni rigide, diventando uno strumento prezioso nella lotta contro il cancro e altre condizioni mediche che richiedono trattamenti precisi e mirati.

Inizialmente i sistemi CyberKnife vennero limitati al trattamento delle lesioni intracraniche, ma successivi sviluppi e miglioramenti permisero il trattamento stereotassico di masse situate in regioni corporee differenti, proprio grazie alla capacità del sistema di adattarsi ai movimenti respiratori del paziente e di mantenere un elevato grado di precisione nel mirare e somministrare la radioterapia anche a lesioni localizzate in altre regioni corporee.

Attualmente l'evoluzione di tale metodica ha portato a differenziare la stereotassi in due grandi tipologie, le quali si differenziano principalmente in base al numero di sedute impiegate. La radiochirurgia prevede una singola seduta di trattamento con dose elevata (solitamente compresa tra i 12 e 30 Gy) e l'intensa esposizione permetterà l'innescare dei diversi meccanismi di morte tumorale; attualmente rimane impiegata in maniera limitata per il distretto encefalico. Per quanto riguarda invece la radioterapia stereotassica avremmo l'erogazione della dose mediante alcune sedute di trattamento (generalmente da 1 a 5, con dose per frazione superiore-uguale a 5 Gy).

Negli ultimi anni, grazie all'utilizzo di acceleratori lineari robotizzati sincronizzati con sofisticati sistemi di monitoraggio dei movimenti respiratori del paziente e all'integrazione di immagini TC, RM e PET che consentono una migliore pianificazione e somministrazione del trattamento, la radioterapia stereotassica viene utilizzata anche per il controllo di lesioni extracraniche (polmonari, epatiche, linfonodali e di altri distretti corporei).

Infine, un ulteriore e più recente metodica di trattamento implementata nei trattamenti radioterapici è rappresentata dalla adroterapia, la quale si caratterizza per l'utilizzo di fasci di protoni, neutroni o ioni carbonio, noti appunto come adroni.

Queste particelle elementari offrono un vantaggio significativo grazie alla loro distribuzione favorevole della dose assorbita in profondità nei tessuti. Gli adroni hanno un percorso ben definito e una curva di trasmissione della dose caratterizzata da un picco di profondità e una limitata diffusione laterale. Queste caratteristiche consentono una precisa focalizzazione della dose, consentendo di irradiare i tessuti profondi con una precisione millimetrica e risparmiando i tessuti sani circostanti.

Gli ioni carbonio, in particolare, sono caratterizzati da una maggiore efficacia biologica rispetto ai raggi X ed ai protoni. Questa caratteristica li rende particolarmente indicati per il trattamento dei tumori radioresistenti, che costituiscono circa il 10% di tutti i tumori trattabili con la radioterapia. Tuttavia, la produzione di fasci di ioni carbonio richiede l'uso di acceleratori particolari come ciclotroni e sincrotroni, che attualmente risultano particolarmente costosi e complessi da gestire.

L'adroterapia attualmente viene utilizzata principalmente per trattare tumori localizzati in prossimità di organi critici, dove le dosi di tolleranza dei tessuti sani circostanti sono

altamente limitanti, rendendo difficile il raggiungimento di dosi tumoricide per la neoplasia utilizzando modalità di trattamento convenzionali. Questa tecnica è particolarmente indicata per il trattamento di tumori radioresistenti e/o ipossici, in cui sarà necessario l'utilizzo di dosi molto elevate per ottenere risultati terapeutici significativi.

Inoltre, l'utilizzo dei protoni può essere considerato anche come un'opzione terapeutica successiva a una radioterapia convenzionale con fotoni X, permettendo una successiva somministrare di dose aggiuntiva al tumore, consentendo di raggiungere dosi più elevate rispetto a quanto sarebbe possibile con un trattamento tradizionale. Questo approccio può essere particolarmente utile per tumori che richiedono dosi elevate per un controllo ottimale della malattia.

Le indicazioni specifiche per l'adroterapia, compresa l'uso dei protoni, sono valutate caso per caso in base alla posizione del tumore, alle caratteristiche del paziente e alle considerazioni cliniche. La capacità di fornire una dose di radiazioni precisa e focalizzata con gli adroni offre un potenziale significativo per migliorare l'efficacia del trattamento e ridurre gli effetti collaterali nei pazienti affetti da tumori localizzati.

Come abbiamo notato la storia della radioterapia pone le proprie radici con le prime scoperte delle radiazioni ionizzanti, passando da trattamento di piccole lesioni benigne ad un vero e proprio piano curativo o palliativo per il trattamento della maggior parte delle lesioni neoplastiche, coprendo in maniera globale i diversi distretti corporei. La diffusione mondiale della radioterapia come metodica di fondamentale rilevanza nell'eradicazione tumorale ha favorito un rapido ed inesorabile avanzamento tecnologico attualmente ancora in corso.

5. IL RUOLO DELLA IGRT NELLA RADIOTERAPIA DI PRECISIONE.

Le più recenti tecniche radioterapiche, quali IMRT e VMAT, essendo molto complesse, richiedono verifiche che riducano al minimo le incertezze geometriche dei volumi trattati, causate dalle variazioni del posizionamento e dai movimenti degli organi. Tali incertezze nella precisa localizzazione del target, dovute a movimenti non controllabili dello stesso, sia inter-frazione che intra-frazione, hanno reso necessaria l'aggiunta di margini di tessuto sano al volume bersaglio per garantire un'adeguata accuratezza della somministrazione della dose. Recentemente è invece possibile visualizzare l'anatomia del paziente immediatamente prima di somministrare la frazione di dose, ottenendo quindi in tempo reale una precisa conoscenza della localizzazione del volume bersaglio. Questa tecnica è definita Radioterapia guidata dalle immagini (IGRT) ed ha il potenziale di assicurare che per ciascuna frazione la posizione del target, relativa ad alcuni punti di riferimento, sia la stessa delineata dal piano di trattamento accettato.

Come abbiamo notato la radioterapia si pone come obiettivo principale l'eradicazione della massa tumorale, cercando al contempo di minimizzare il danno ai tessuti sani circostanti. Tuttavia, la dose radiante necessaria per raggiungere tale obiettivo può spesso superare il livello di tolleranza dei tessuti sani circostanti, causando rilevanti effetti collaterali indesiderati.

Questo delicato equilibrio rappresenta la principale limitazione dell'attuale radioterapia, oltre a costituire la principale sfida con la quale ci si scontra durante la preparazione di un planning di trattamento. Per affrontare questa sfida, la radioterapia si è evoluta nel corso degli anni con l'introduzione di diverse tecniche e strategie per migliorare la precisione e la conformità del trattamento. L'utilizzo di tecniche avanzate, come la Radioterapia a Intensità Modulata (IMRT) e la Radioterapia Modulata Volumetrica ad Archi (VMAT), consentono una maggiore modulazione del fascio di radiazione, concentrandolo sul tumore e riducendo la dose ai tessuti sani circostanti.

La possibilità di impiego oggi di fonti produttrici di alte energie capaci di precisioni geometriche pari al millimetro, hanno permesso virtualmente di trattare ogni tumore all'interno dell'organismo umano.

Per l'esecuzione di tali trattamenti, quindi, risulterà fondamentale la presenza di imaging

necessario a permettere precisi aggiustamenti del fascio radiante.

Le procedure di acquisizione di immagini radiologiche per l'identificazione del volume bersaglio, utilizzate prima del trattamento o durante il trattamento stesso per la correzione di eventuali errori di posizionamento e/o collocazione del bersaglio, vengono definite come radioterapia a guida d'immagine. Oggigiorno la principale e più diffusa metodica di acquisizione delle immagini IGRT risulta la CT a fascio conico, anche se nel mercato esistono ulteriori e più diversificate strategie.

Attualmente, quindi, l'Image-Guided Radiation Therapy è una tecnica avanzata di radioterapia che utilizza immagini diagnostiche di alta precisione per guidare in tempo reale la somministrazione di radiazioni al target tumorale. L'obiettivo principale dell'IGRT risulterà quello di massimizzare la precisione del trattamento, in conformità al treatment planning elaborato, permettendo così un minimo coinvolgimento dei tessuti sani circostanti.

Essendo la radioterapia un trattamento locale e quindi fortemente dipendente dalla precisione e dalla qualità delle immagini acquisite, risulterà fondamentale una corretta identificazione e stadiazione del target tumorale accompagnato da una corretta discriminazione tra tessuto patologico e sano per permettere e garantire un trattamento di successo, con una riduzione del tasso di complicanze dovuto all'utilizzo di alte dosi di radiazioni.

L'integrazione diretta dell'imaging con il LINAC stesso mediante la presenza di sistemi cone-beam, ha permesso l'esecuzione di controlli quotidiani del posizionamento del paziente, in maniera più semplice e rapida, riducendo la probabilità di target missing, con la possibilità di effettuare eventuali correzioni in base ai diversi cambiamenti riscontrati; infatti eventuali imprecisioni nel posizionamento potranno essere facilmente corrette (correzione on-line), mentre nel caso di importanti cambiamenti anatomici avremo la possibilità di modificare la procedura stessa (correzione off-line), consentendo così l'attuazione delle diverse misure necessarie in maniera tempestiva ed efficace.

L'utilizzo delle metodiche IGRT risulta particolarmente utile nei trattamenti che si prolungano per diverse settimane. Come già descritto in precedenza, durante il corso della radioterapia, il paziente potrà subire cambiamenti fisici significativi (variazioni ponderali) e anche il volume tumorale può andare incontro a significative variazioni, che possono comportare un aumento della sua mobilità. Di conseguenza, diventa sempre più necessario apportare modifiche efficaci al piano di trattamento originale. L'adattamento del piano di

trattamento, reso possibile grazie all'IGRT, è essenziale per mantenere un elevato livello di precisione nella somministrazione della dose radiante, in quanto senza una correzione adeguata, potrebbero verificarsi importanti alterazioni nella distribuzione dosimetrica desiderata e nel controllo tumorale, favorendo così il mancato controllo della neoplasia e la comparsa di effetti avversi.

Tutto ciò ha dato origine a un approccio noto come adaptive radiotherapy o "radioterapia adattativa", che consente di valutare e modificare il piano di trattamento in tempo reale, tenendo conto dei cambiamenti anatomici e del volume tumorale durante il trattamento. Utilizzando immagini di alta qualità acquisite in modo regolare, sarà possibile apportare aggiustamenti al piano di trattamento per mantenere la massima precisione e minimizzare l'irradiazione dei tessuti sani circostanti.

Per permettere tutto ciò risulta fondamentale l'acquisizione di immagini di qualità e attualmente sono le metodiche tomografiche ad esser più utilizzate mediante sistemi cone-beam, montati direttamente sull'acceleratore lineare.

Il funzionamento della TC a fascio conico si baserà sulla ricostruzione tomografica di molteplici scansioni assiali bidimensionali ottenute mediante una singola rotazione del sistema tubo detettore.

Nonostante i vantaggi dell'IGRT nell'ottimizzare la precisione del trattamento, attualmente ci sono alcune limitazioni da considerare. Sebbene l'acquisizione avvenga mediante l'ausilio di basse energie con una limitata quantità di dose radiante, nei trattamenti radianti prolungati, specialmente quando sono utilizzate tecniche IMRT, non si conosce la possibilità dello sviluppo di seconde neoplasie radio indotte dall'incremento delle basse dosi a volumi estesi; per tale ragione sarà necessario un corretto utilizzo della metodica in base alle diverse richieste cliniche, limitandone il numero di utilizzi oltre che la quantità di dose radiante, allo scopo di garantire una corretta limitazione dosimetrica.

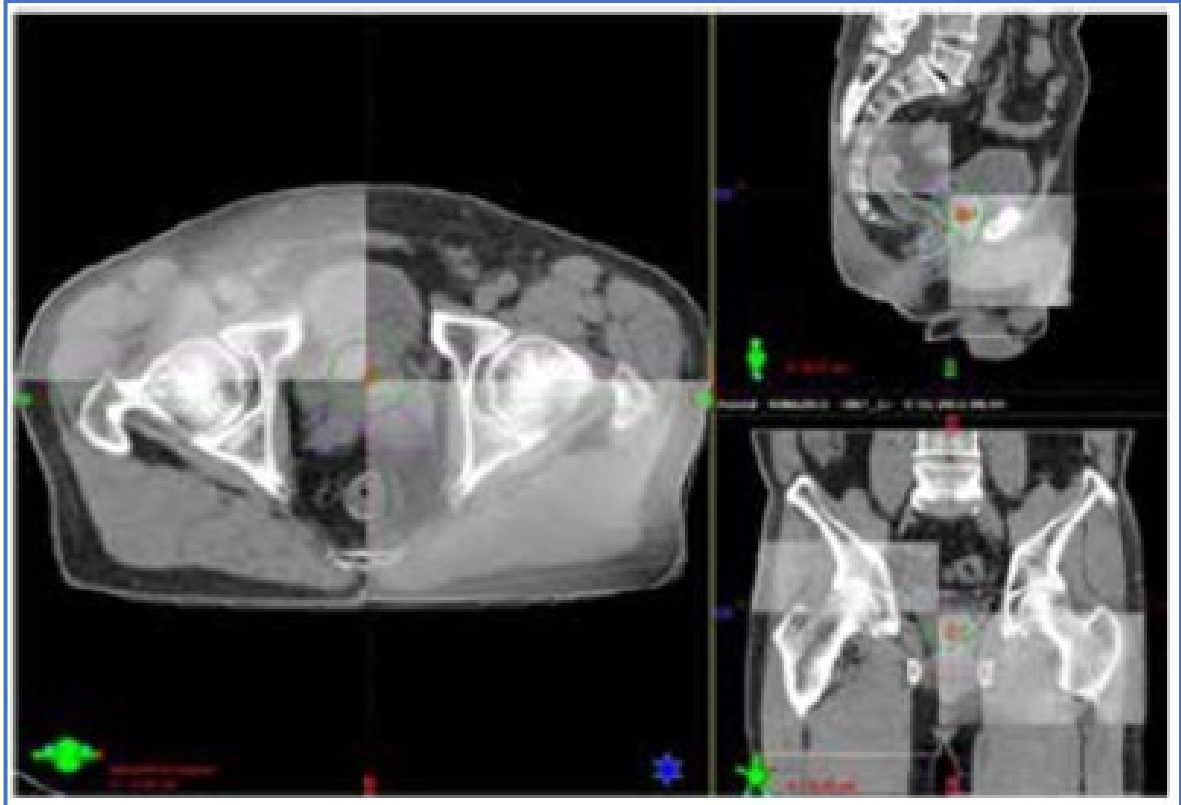
Questo approccio cautelativo risulta essenziale per garantire la massima sicurezza del paziente e minimizzare il rischio di effetti collaterali indesiderati. Nonostante tali ragioni, l'IGRT rappresenta comunque un importante passo avanti nella radioterapia, poiché permette di ottenere trattamenti più precisi e personalizzati, offrendo una maggiore tutela e sicurezza per quanto riguarda la fase di erogazione. Con ulteriori studi e ricerche, si potranno affrontare e superare queste attuali incertezze, migliorando sempre di più l'efficacia e la

sicurezza della radioterapia oncologica a guida d'immagine

5.1 Caratteristiche dei sistemi IGRT

Attualmente la soluzione più comune e maggiormente diffusa nei Centri di Radioterapia risulta esser l'utilizzo di acceleratori lineari ibridi caratterizzati per il montaggio di sistemi tubo-detettore in grado di realizzare immagini nell'ordine dei kilovolt nella componente strutturale del LINAC stesso: questa tecnologia è chiamata On Board Imager (OBI).

L'acquisizione di immagini volumetriche confrontabili con le acquisizioni CT prodotte durante il processo di centratura mediante il sistema OBI si caratterizza per sfruttare la stessa meccanica di funzionamento delle tecniche tomografiche computerizzate. Il sistema LINAC OBI compirà un'intera rotazione di 360° intorno al paziente acquisendo una serie di immagini assiali, solitamente avremo la produzione dalle 500 alle 1000 proiezioni portali 2D. La differenza sostanziale tra le metodiche CT OBI e CT standard risulterà nel semplice fatto che nelle metodiche di imaging tomografico diagnostico avremo l'utilizzo di un fascio radiante altamente collimato, mentre il fascio costituente l'OBI presenterà invece un'estensione longitudinale maggiore, con forma conica (da qui il nome dall'inglese cone-beam CT). Per tale ragione il fascio conico presenterà una naturale divergenza, la quale nonostante l'utilizzo di sofisticati filtri di ricostruzione sarà la causa della minor qualità delle immagini prodotte; nonostante ciò le ricostruzioni 3D volumetriche prodotte permetteranno una qualità sufficiente da consentire il confronto con l'acquisizione avvenuta nel corso della TC Simulazione, grazie alla possibilità di sovrapporre i 2 set di immagini, garantendo il riconoscimento dei tessuti molli oltre che l'individuazione della neoplasia stessa, permettendo così un'ottimale confronto e una perfetta riproducibilità del trattamento pianificato, mediante il riposizionamento del volume target nella posizione pianificata, mediante lo spostamento del lettino con controlli remoti o direttamente in sala di trattamento.



Confronto con sovrapposizione di immagini acquisite con TC CB prima del trattamento con quelle della pianificazione radioterapica.

Attualmente, un sistema IGRT si basa su diverse componenti fondamentali, che collaborano sinergicamente per garantire un trattamento radiante altamente personalizzato e preciso. Le principali componenti includono:

- Sistema d'acquisizione d'immagine. Questa componente è responsabile della cattura di immagini diagnostiche di alta precisione, come TC, RM, PET-CT o ultrasuoni. Queste immagini forniscono informazioni dettagliate sulla posizione e sulle dimensioni del tumore e dei tessuti circostanti, consentendo di monitorare eventuali cambiamenti nel corso del trattamento.
- Set di immagini di riferimento. Questo set di immagini viene utilizzato come base di confronto per valutare eventuali variazioni durante il trattamento. Le immagini di riferimento sono solitamente acquisite durante la fase di pianificazione del trattamento e fungono da punto di riferimento per la posizione e la forma del tumore e degli organi circostanti.

- Software di comparazione tra i diversi pacchetti di immagini. Il software di comparazione elabora e confronta le immagini di riferimento con le immagini acquisite durante il trattamento. Questa fusione di immagini permette di identificare con precisione eventuali deviazioni nella posizione del target tumorale rispetto alla sua posizione pianificata inizialmente. Una volta rilevate queste deviazioni, il software calcola le indicazioni numeriche per ogni asse spaziale (x, y, z) necessarie per correggere la posizione del paziente e del fascio di radiazioni. Queste indicazioni consentono di apportare correzioni in tempo reale, garantendo che il fascio di radiazioni sia accuratamente allineato al target durante ogni sessione di trattamento.
- Protocollo operativo. Questo rappresenta il set di linee guida e procedure che regolano l'utilizzo del sistema IGRT. Definisce le modalità di acquisizione delle immagini, il confronto e la correzione delle deviazioni, nonché i criteri per l'aggiornamento del piano di trattamento. Un protocollo operativo ben definito assicura la coerenza e la sicurezza nell'applicazione dell'IGRT.

Come citato nel paragrafo precedente avremmo la possibilità di utilizzare due grandi tipologie di strategie di correzione: online e offline.

La correzione online si caratterizza per l'analisi delle immagini subito dopo la loro acquisizione, permettendo così se necessario l'esecuzione di piccole modifiche del posizionamento prima dell'erogazione del piano di trattamento. Mediante questa tipologia di correzione è possibile l'eliminazione di eventuali errori casuali o di posizionamento. Il principale svantaggio di tale metodica è costituito dal fatto che allungherà i tempi di trattamento a causa del processo di acquisizione e analisi delle immagini durante la seduta, con possibili disagi per i pazienti con difficoltà a mantenere la posizione. Inoltre, vi è la possibilità di commettere errori da parte degli operatori, con il rischio di errori tecnici o di interpretazione durante il processo di acquisizione e analisi delle immagini.

È importante notare che molti di questi svantaggi possono essere mitigati attraverso una pianificazione attenta, una formazione adeguata del personale e l'implementazione di protocolli rigorosi.

Nella correzione offline invece il pacchetto di immagini verrà archiviato per permettere in un secondo momento la possibilità di visione e modificazione del piano; l'utilizzo di questa

metodica permette la correzione di eventuali errori sistematici ma non degli errori quotidiani (vengono definiti errori sistematici quegli errori che si verificano durante il processo di pianificazione, i quali tenderanno a ripetersi per l'intera durata del trattamento, risultando quindi particolarmente pericolosi).

L'utilizzo di metodiche di correzione online dovrà essere preferito nei casi in cui avremo la presenza di strutture nobili ed altamente radio sensibili vicino al target tumorale.

5.2 Tipologie di IGRT

IGRT ad ultrasuoni

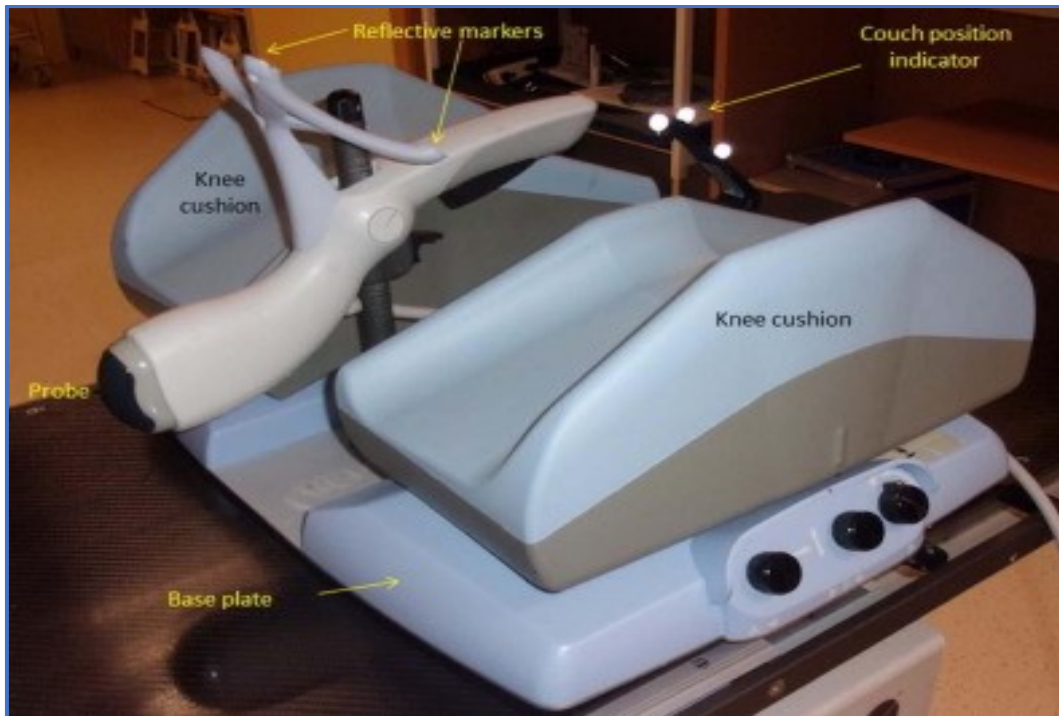
L'utilizzo dell'IGRT ad ultrasuoni (US-IGRT) si basa sull'impiego di sonde ecografiche in grado di fornire un'immagine volumetrica sull'organo del paziente disteso sul lettino di trattamento e l'utilizzo di un apposito software ne permette il confronto tra la posizione attuale e la posizione progettuale.

All'inizio l'utilizzo di tale metodica venne strettamente limitato per la visione della loggia prostatica, anche se successivamente numerose pubblicazioni dimostrarono un possibile utilizzo per il sito addominale e mammario.

L'imaging con ultrasuoni permette un'accuratezza geometrica compresa tra i 3 e 5 mm.

La natura non ionizzante dell'imaging ad ultrasuoni potrebbe risultare vantaggioso per quanto riguarda l'IGRT quotidiana, evitando qualsiasi rischio di sviluppo di tumori secondari radioindotti.

Il futuro dell'IGRT ad ultrasuoni include lo sviluppo di sistemi per il tracking 4D dei tumori, in particolare per lo studio e controllo della prostata con l'impiego di specifiche sonde a livello perineale e tale tecnica attualmente mediante il sistema di auto scansione remota ad ultrasuoni 3D ha ricevuto l'approvazione dalla Food And Drug Administration degli Stati Uniti per l'auto scansione della ghiandola prostatica del paziente dall'esterno della sala di trattamento.



sistema di auto scansione remota ad ultrasuoni

Sistemi a base fotografica

L'utilizzo di sistemi ad immagini ottiche rappresenta un'importante evoluzione nell'ambito dell'Image-Guided Radiation Therapy (IGRT), poiché permette il monitoraggio continuo del paziente e delle superfici corporee senza l'utilizzo di radiazioni ionizzanti. Questa metodica offre numerosi vantaggi, tra cui elevata velocità di acquisizione delle immagini e un'assenza di esposizione del paziente ad ulteriori radiazioni.

Attualmente, esistono due sistemi commerciali disponibili che consentono di eseguire rapide immagini della superficie del paziente durante l'intera seduta di trattamento. Questi sistemi utilizzano tecniche di fotogrammetria per creare modelli 3D della superficie del paziente, fornendo una mappatura precisa e dettagliata delle variazioni nella posizione del paziente durante il trattamento.

I benefici di questi sistemi ad immagini ottiche includono la possibilità di rilevare eventuali movimenti o cambiamenti nella posizione del paziente in tempo reale, consentendo ai radioterapisti di apportare correzioni immediatamente e garantire l'accuratezza del trattamento.

Inoltre, l'utilizzo di sistemi ad immagini ottiche risulta migliorare il comfort del paziente,

poiché non sarà necessario sottoporsi a procedure aggiuntive di imaging con radiazioni ionizzanti durante il trattamento. Questo contribuisce a ridurre l'ansia e lo stress del paziente durante le sessioni di radioterapia.

Tali modelli permetteranno l'attuazione di controlli mediante la sovrapposizione del modello ottico con le acquisizioni ottenute durante il processo di simulazione virtuale mediante l'utilizzo dei laser come riferimento fisso.

L'imaging con sistemi fotografici permette attualmente un'accuratezza geometrica della superficie del paziente pari a 1-2 mm.

I sistemi di posizionamento basati sulla corrispondenza di superficie forniscono un sistema di controllo IGRT basato su imaging non ionizzante e come nel controllo ad ultrasuoni risulta favorito nei casi che richiedono numerosi controlli. Possibili aree di sviluppo di questa metodica sono rappresentate dall'uso crescente della metodica di radioterapia stereotassica (SBRT), la quale richiede speciali monitoring degli spostamenti intrafrazione, per tale ragione il controllo di superficie risulta particolarmente indicato e attualmente numerosi progetti di ricerca sono in atto.

IGRT ad immagini portali

L'utilizzo di immagini portali rappresenta una pietra miliare nello sviluppo dell'Image-Guided Radiation Therapy. Originariamente concepito negli anni '80 come un diretto successore delle pellicole radiografiche, la metodica ad immagini portali è diventata rapidamente parte fondamentale delle tecniche IGRT.

Con l'introduzione delle immagini portali 2D, è stato possibile effettuare le prime verifiche durante i trattamenti di radioterapia. Queste immagini consentirono di confrontare le diverse componenti ossee o i reperi metallici presenti nell'area trattata, fornendo indicazioni preziose sulla corretta posizione del paziente e del target tumorale.

Il processo delle immagini portali 2D si basa sulla registrazione delle immagini radiografiche acquisite durante il trattamento con le immagini di riferimento ottenute durante la pianificazione del trattamento. Mediante l'uso di sofisticati software, queste immagini vengono sovrapposte e confrontate per identificare eventuali deviazioni o spostamenti del paziente rispetto alla posizione desiderata.

Sebbene le immagini portali 2D abbiano rappresentato i primi passi delle metodiche di IGRT, presentano alcune limitazioni, in particolare offrono solo una rappresentazione bidimensionale dell'area trattata e possono essere influenzate da errori di posizionamento e di proiezione. Di conseguenza, l'accuratezza del monitoraggio potrebbe risultare limitata.

La tecnologia dei sistemi ad immagine portale ha fatto notevoli progressi nel corso degli anni, e le più recenti generazioni di sistemi sfruttano la tecnologia a flat panel tristratificato, per migliorare l'acquisizione e la qualità delle immagini. Questi sistemi sono ampiamente utilizzati nella pratica clinica per la verifica del posizionamento dei pazienti durante il trattamento di radioterapia.

Il funzionamento di questi sistemi si basa su un sofisticato processo di conversione dei fotoni incidenti in elettroni attraverso il primo strato, e successivamente gli elettroni verranno convertiti in fotoni visibili mediante l'utilizzo di fosfori scintillatori presenti nello strato intermedio. Infine, i fotoni prodotti finiranno a livello del terzo strato, il quale fungerà da detettore mediante una matrice di fotodiodi. Questo processo permette di ottenere immagini 2D ad alta risoluzione e precisione geometrica rispetto alle precedenti tecnologie.

L'acquisizione di immagini portali 2D con questi nuovi ed innovativi sistemi consente un'accuratezza geometrica pari a 1-2 mm, permettendo così di monitorare e controllare con grande precisione la posizione del target tumorale e degli organi sani circostanti durante il trattamento. La dose radiante per singola esposizione varia solitamente tra 1 e 3 mGy, garantendo un livello di esposizione al paziente adeguatamente basso.

Per quanto riguarda lo sviluppo futuro dei sistemi ad immagine portale, è probabile che ci siano ulteriori miglioramenti nella tecnologia dei detettori, con l'obiettivo di rendere i sistemi ancora più performanti ed efficienti. Ciò potrebbe includere l'introduzione di detettori più sensibili e con una maggiore capacità di rilevazione dei fotoni, garantendo una maggiore qualità dell'immagine e una maggiore precisione nel monitoraggio del trattamento.

Inoltre, con il continuo accrescimento delle tecnologie di imaging e dell'intelligenza artificiale, risulterà possibile lo sviluppo di algoritmi avanzati per l'analisi e l'interpretazione delle immagini portali, fornendo ai medici informazioni ancora più dettagliate e utili per la correzione e l'ottimizzazione del piano di trattamento.

IGRT CT con fascio conico

La tomografia computerizzata a fascio conico (CB-CT) ha rivoluzionato l'Image-Guided Radiation Therapy ed è attualmente la metodica più utilizzata in questo ambito. Questa tecnica permette l'acquisizione di immagini volumetriche ad alta risoluzione, fornendo informazioni diagnostiche dettagliate sia sui tessuti molli che sulla componente ossea.

L'implementazione della CB-CT è stata resa possibile grazie al montaggio diretto di sistemi tubo-detettore a livello del gantry dell'acceleratore lineare. Questi sistemi si caratterizzano per la presenza di tubi radiogeni retraibili accoppiati a detettori a silicio amorfo, disposti in maniera ortogonale all'asse del fascio radiante di trattamento. Questo permette di ottenere immagini tridimensionali dell'area di interesse, fornendo una visione completa della regione trattata.

L'acquisizione di un volume tramite CB-CT offre numerosi vantaggi nella pratica clinica. La possibilità di ricostruire immagini nei piani sagittale, coronale e trasversale permette ai medici di avere una visione completa dell'anatomia del paziente e del tumore in tempo reale. Questo consente di monitorare con precisione il posizionamento del target tumorale e degli organi a rischio durante il trattamento, permettendo eventuali correzioni in tempo reale per garantire l'accuratezza e la sicurezza del trattamento.

Il sistema CB-CT rappresenta un importante strumento nella radioterapia a guida d'immagine poiché permette di ottenere immagini volumetriche dettagliate della regione di interesse. Tuttavia, va tenuto presente che l'acquisizione delle immagini tramite CB-CT è un processo relativamente lento, il che può comportare una riduzione di precisione delle posizioni degli organi all'interno del campo di vista (FOV) dovuto a possibili spostamenti durante l'acquisizione.

Esistono due principali tipologie di sistemi CB-CT: quelli a kilovoltaggio (Kv CB-CT) e quelli a megavoltaggio (Mv CB-CT). I sistemi Kv CB-CT presentano un maggiore contrasto e risoluzione spaziale rispetto alla controparte a megavoltaggio, il che li rende particolarmente utili per la visualizzazione dettagliata dei tessuti molli e delle strutture anatomiche. Tuttavia, i sistemi Kv CB-CT possono sviluppare artefatti, specialmente in presenza di materiali ad alta densità, come protesi ortopediche o dentali, che possono ridurre la qualità dell'immagine.

La cone-beam CT IGRT rappresenta attualmente una delle metodiche più utilizzate nella pratica clinica routinaria di radioterapia. Grazie a questa tecnologia, milioni di pazienti hanno potuto beneficiare di trattamenti più precisi e mirati, riducendo i margini di sicurezza e massimizzando l'efficacia del trattamento.

Una delle principali applicazioni della CB-CT IGRT è stata nel trattamento del tumore prostatico, dove è stata dimostrata una significativa riduzione della tossicità del retto grazie alla maggiore precisione nella somministrazione delle radiazioni. Oltre a ciò, questa metodica ha permesso di incrementare l'efficacia della radiochirurgia a livello encefalico e toracico, migliorando il controllo locale del tumore.

Un altro importante vantaggio presentato da tale metodica risulta dall'integrazione tra CB-CT IGRT e attrezzature per le proton therapy; infatti, è stato evidenziato nei casi di tumori a livello cerebrale, toracico e del capo-collo una riduzione della tossicità dovuta all'azione radiante. La sinergia tra queste due tecnologie ha permesso di fornire dosi di radiazioni più precise e conformate al tumore, massimizzando l'effetto terapeutico sulle cellule tumorali e riducendo al minimo il danno ai tessuti sani circostanti.

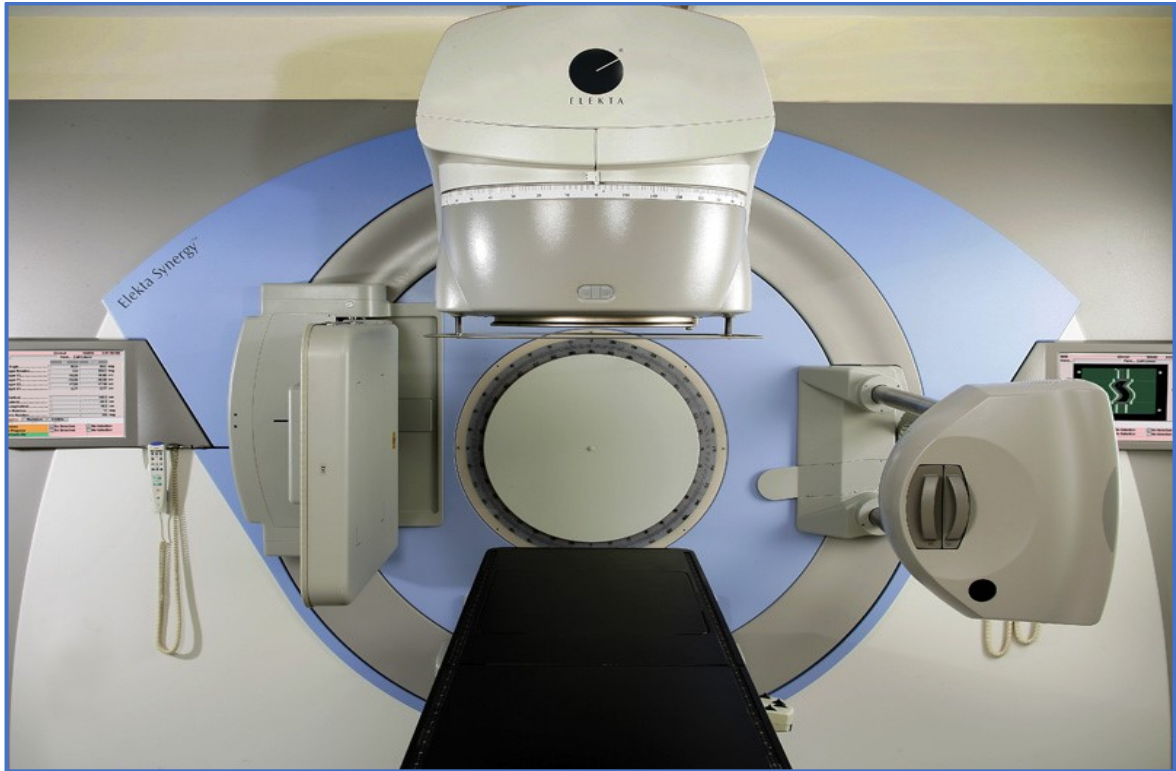
Benché l'acquisizione di immagini 3D possa risultare a volte più lenta rispetto alla precedente metodica ad immagini planari, essa permette una migliore, rapida e precisa interpretazione, per tale ragione si è assistito alla rapida sostituzione dei sistemi planari con macchinari ad acquisizione 3D.

L'utilizzo di tomografi computerizzati a fascio conico ha dimostrato di offrire un'accuratezza geometrica superiore, con un margine di errore inferiore a 1 mm, rendendo possibile un trattamento radiante altamente preciso. La dose radiante erogata durante l'acquisizione delle immagini CB-CT risulta compresa tra 30 e 50 mGy, un livello accettabile considerando la sua importanza nel garantire la massima precisione del trattamento.

La CB-CT è particolarmente utilizzata nei controlli di trattamenti di Stereotactic Body Radiation Therapy (SBRT) e Stereotactic Radiosurgery (SRS), soprattutto nei casi di tumori localizzati nel torace, fegato, encefalo, capo-collo e colonna vertebrale. Il suo frequente utilizzo ha portato a importanti sviluppi tecnologici, con l'introduzione di sistemi sempre più performanti e precisi, che hanno contribuito a migliorare la qualità delle immagini.

Inoltre, i continui sviluppi nella tecnologia hanno permesso importanti riduzioni del rumore nelle immagini, causato dall'indurimento del fascio e dallo scattering dei raggi X, rendendo le

immagini più nitide e dettagliate. Si prospettano anche ulteriori miglioramenti, come la possibilità di ridurre maggiormente la dose radiante erogata al paziente, garantendo un trattamento ancora più sicuro e mirato.



LINAC con sistema CB-CT

IGRT nei sistemi di immagine tomoterapici

L'utilizzo di tomografi elicoidali nella metodica IGRT risulta possibile con l'utilizzo di acceleratori lineari per l'esecuzione di trattamenti ad intensità modulata (IMRT) mediante l'installazione di un sistema LINAC in un gantry simile a quello presente su scanner CT standard presentando così una singola sorgente.

Mediante l'utilizzo delle tecnologie slip ring presenti nei tomografi diagnostici standard, l'unità risulta in grado di una perenne rotazione attorno al paziente mentre il lettino si muoverà all'interno del gantry. Un compatto acceleratore lineare da 6 MeV sarà montato all'interno del gantry rotante. Il fascio dell'acceleratore verrà prontamente collimato da un sistema multi-lamina il quale permetterà la formazione di fette dallo spesso variabile compreso tra 0.5 e 5 cm.

L'utilizzo di tomografi a megavoltaggio prevede l'impiego di particolari sistemi di detector basati sullo xenon, essenziali per ottenere immagini diagnostiche di qualità dopo l'esposizione ad elevate energie. Poiché il range energetico erogabile dal LINAC risulta essere troppo alto per produrre le tipiche energie caratteristiche del imaging diagnostico, i detector allo xenon consentiranno comunque di ottenere immagini diagnostiche di buona qualità.

Tuttavia, l'uso di elevate energie potrebbe comportare una riduzione del contrasto dei tessuti molli nelle immagini. Per garantire immagini di alta qualità, sarà importante ottimizzare i parametri di acquisizione, come il pitch, che influenzerà sensibilmente la dose di radiazioni assorbita dal paziente. Tipicamente, nelle immagini tomografiche acquisite con fasci nell'ordine dei megavolt, la dose assorbita dal paziente varierà tra 1 e 3 cGy per acquisizione.

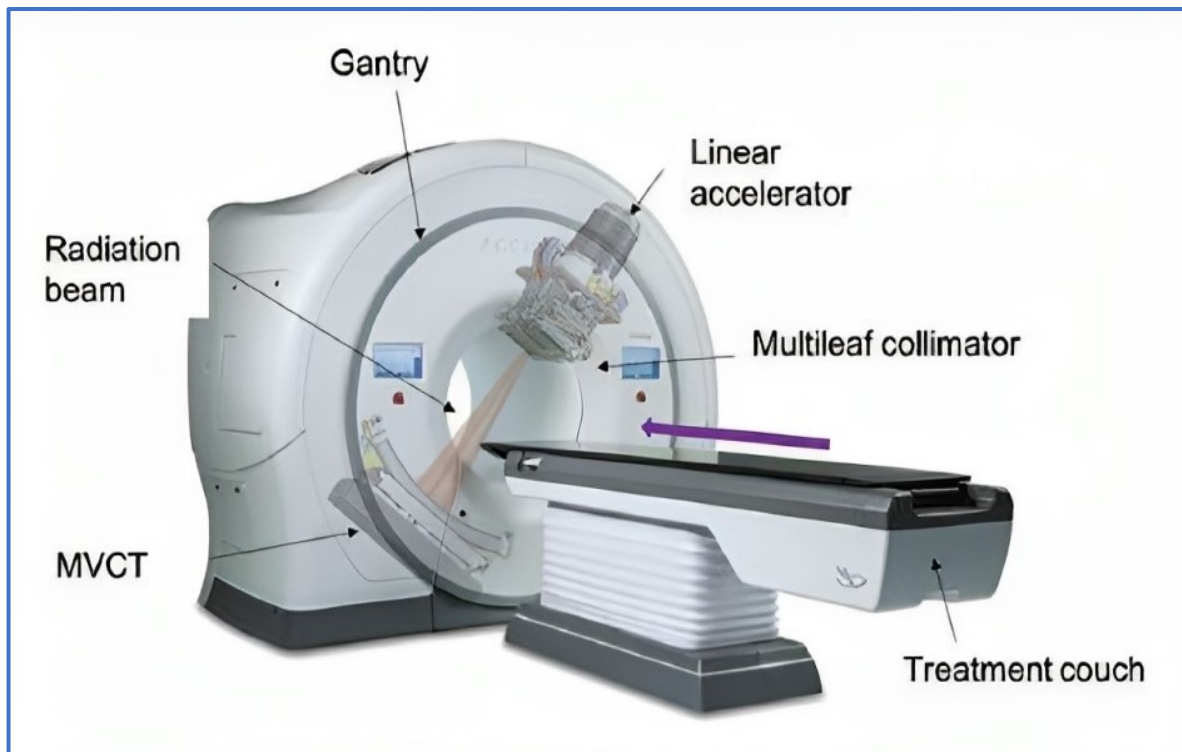
È quindi fondamentale bilanciare accuratamente la dose radiante somministrata al paziente con la qualità delle immagini ottenute, al fine di garantire un trattamento sicuro ed efficace, minimizzando al contempo il rischio di effetti collaterali associati alla radioterapia. L'evoluzione continua della tecnologia e dei sistemi di imaging consentirà di affinare ulteriormente l'IGRT, migliorando la precisione e l'efficacia dei trattamenti radianti. L'utilizzo di metodiche di Image-Guided Radiation Therapy con immagini tomoterapiche offre un'accuratezza geometrica estremamente precisa, inferiore a 1 mm, durante il trattamento radiante.

Le metodiche con fascio di energie nell'ordine dei megavolt sono particolarmente adatte per il trattamento di pazienti con impianti metallici, poiché questo tipo di fascio non risulterà sensibile alla formazione di artefatti da metallo, garantendo immagini più accurate anche in presenza di tali materiali.

Nonostante l'elevata precisione del sistema tomoterapico, è importante considerare una limitazione significativa: i detector a singola fetta. Questo significa che il tempo necessario per acquisire un intero volume di interesse sarà proporzionale alla lunghezza della zona in esame, richiedendo circa 6 secondi per ogni "fetta" dell'immagine. Questa caratteristica può influire sulla durata complessiva della procedura di trattamento.

Attualmente, la tomoterapia viene utilizzata in un ampio spettro di trattamenti clinici, che vanno dal trattamento della ghiandola prostatica, del capo-collo e di alcune neoplasie dell'infanzia. Inoltre, le macchine più recenti possono disporre di un sistema di "tumor tracking", il quale permette di monitorare in tempo reale eventuali movimenti del tumore

durante il trattamento, garantendo una maggiore precisione e sicurezza nella somministrazione dello stesso. Questi progressi hanno aperto nuove possibilità nel trattamento dei tumori, offrendo opzioni personalizzate e altamente efficaci per i pazienti.



Sistema tomoterapico

IGRT con sistemi CT su rotaia

In questo sistema, l'acceleratore lineare e uno scanner CT sono collegati tramite un sistema binario, con il lettino di trattamento comune. Durante la fase di controllo, avremo la movimentazione del sistema CT mediante il movimento su binario, permettendo l'esecuzione della CT senza spostare il lettino, ma solo il sistema CT stesso.

Il vantaggio principale di questo sistema risiede nell'eccellente qualità della definizione dell'immagine poiché verrà utilizzato un sistema tomografico multislice diagnostico invece di un sistema a fascio conico. Ciò consente di ottenere immagini di alta risoluzione e dettaglio, fornendo informazioni diagnostiche più precise e accurate per la pianificazione del trattamento.

Inoltre, il paziente rimarrà completamente immobile durante l'acquisizione delle immagini

poiché il sistema CT si sposterà intorno al paziente. Questo garantisce una maggiore stabilità e precisione nella posizione del paziente durante la scansione, riducendo al minimo i possibili errori di set-up.

Tuttavia, un possibile svantaggio di questo sistema può essere rappresentato dai minimi errori di impostazione nel passaggio del lettino di trattamento dall'acquisizione dell'immagine alla posizione di trattamento. È essenziale garantire un corretto allineamento e posizionamento del paziente per evitare discrepanze tra l'acquisizione delle immagini e il trattamento effettivo.

Inoltre, l'installazione di uno scanner CT richiede bunker di dimensioni adeguate risultando più costoso di un sistema di CT cone beam con OBI per cui è una metodica che non trova più spazio tra i sistemi di IGRT.



Sistema CT su rotaia

IGRT con sistemi CyberKnife

Il sistema a guida d'immagine IGRT del CyberKnife è un sistema di Targeting che risulta costituito da due tubi radiogeni posti sul soffitto e diretti con inclinazione di 45° verso i detectori di silicio amorfo posti a livello del pavimento; ciò permetterà la guida mediante immagini. Le informazioni acquisite in tempo reale verranno utilizzate per correggere la

posizione del robot, ciò risulterà possibile mediante l'ausilio di algoritmi di tracking, i quali consentiranno di verificare le sei dimensioni traslazionali e possibili rotazioni: la frequenza delle acquisizioni risulterà impostata dall'operatore, generalmente optando per l'acquisizione ogni 1 o 5 erogazioni con media di 3.

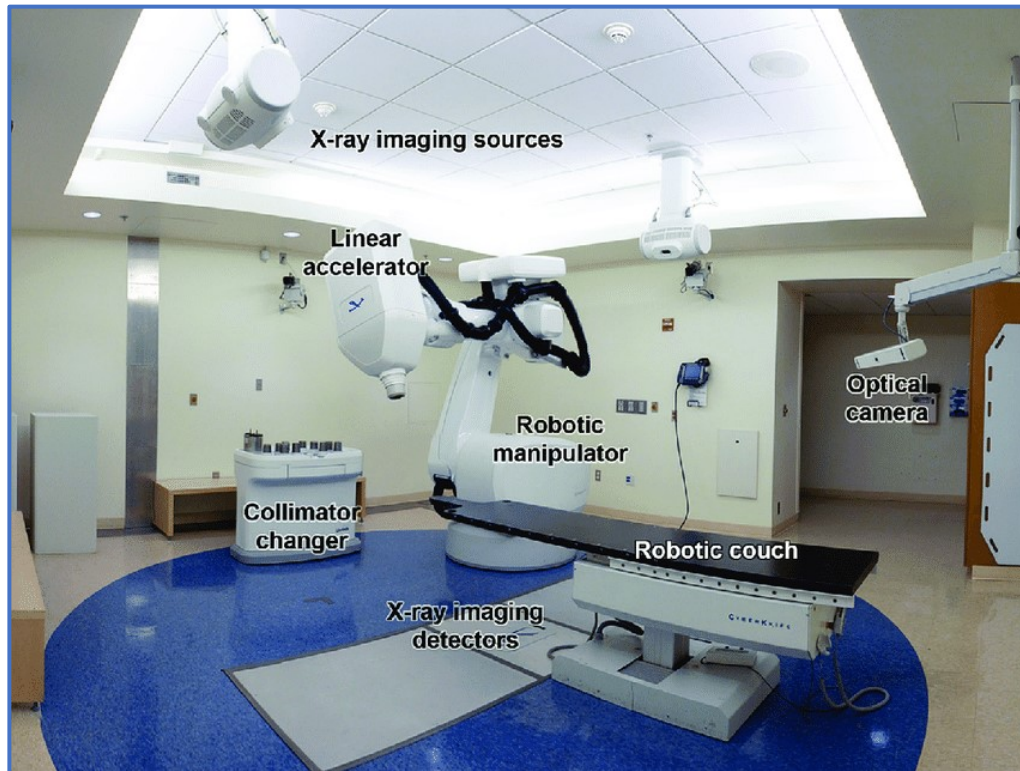
Tale sistema risulta quindi composto da due detettori ortogonali l'uno rispetto all'altro, composti da silicio amorfo e posti al di sotto del pavimento; tali sistemi permettono così di registrare le immagini prodotte nell'area di interesse durante l'intero trattamento, permettendo un ottimale confronto con le immagini DDR (Digitally Reconstructed Radiographies) acquisite mediante la rielaborazione delle immagini CT di centraggio.

Con tale sistema il braccio robotizzato sarà in grado di individuare e correggere sia gli errori di posizionamento e di set-up, sia gli spostamenti, anche fisiologici, delle strutture interne. Tutto ciò, quindi, risulterà possibile grazie ai sei gradi di libertà possibili dal braccio robotizzato, che permetterà movimenti in tutte le direzioni nello spazio tridimensionale, oltre alla presenza di un lettino che presenterà anche quest'ultimo sei possibilità di movimento oltre che alla possibilità di ruotare, permettendo così la correzione degli errori non solo nelle traslazioni lungo i tre assi cartesiani (x, y, z), ma anche nei movimenti di rotazione. In sintesi, questa complessa integrazione tra il braccio robotizzato e il lettino offre un controllo completo e preciso durante il trattamento, garantendo che la terapia sia accurata e sicura.

La garanzia della precisione del trattamento risulta quindi fondamentale anche se la lunga durata del processo di trattamento, compreso solitamente tra 30 e 60 minuti, richiederà un posizionamento stabile e confortevole, solitamente ottenuto mediante l'ausilio di materassini modellabili e maschere termoplastiche. Oltre a ciò, la precisione del trattamento sarà garantita dal continuo aggiornamento derivante dal confronto computerizzato ottenuto tra le immagini ottenute dal trattamento e dal set acquisito durante il centraggio.

Poiché il set di immagini acquisite durante il trattamento sarà ottenuto utilizzando immagini planari, diventerà essenziale identificare e selezionare accuratamente tutte le strutture ossee che fungeranno da surrogato per la struttura bersaglio. Questo risulterà di fondamentale importanza per garantire la precisione e l'efficacia del trattamento. Solitamente le strutture più utilizzate risultano la scatola cranica (Skull tracking), colonna vertebrale (Xsight spine) o talora in casi particolari come nelle lesioni poste a livello del

parenchima polmonare si potrà utilizzare il target stesso come punto di repere (Xsight lung). In tutte le altre sedi avremmo come surrogato l'impiego di marker interni (Fiducial tracking), mediante l'inserimento per via percutanea di reperi d'oro dalla lunghezza di 5 mm con diametro di 0,8 mm mediante l'ausilio di sonde ecografiche o CT guidata; generalmente vengono inseriti da 3 a 4 reperi per permettere un ottimale riconoscimento di posizione sui tre assi cartesiani, comprendendo eventuali rotazioni.



Cyberknife

Radioterapia 4D

Con il termine radioterapia 4D si comprende l'insieme di eterogenee e complesse tecnologie finalizzate all'ottimizzazione del trattamento del bersaglio oncologico tenendo conto delle possibili variazioni di forma e dimensioni verificabili nel tempo durante l'esecuzione del trattamento, dovuti principalmente alla respirazione, alla cinetica cardiaca e alla peristalsi intestinale, movimenti insopprimibili che tenderanno a ripercuotersi sugli organi compresi nel volume bersaglio o in prossimità di questo.

L'attuale standard nel trattamento 4D risulta esser l'utilizzo del gating respiratorio, attualmente questa tecnica altamente complessa richiede l'acquisizione mediante l'utilizzo

di una CT dinamica della rivoluzione del bersaglio in funzione della natura del movimento ciclico del paziente. Tali immagini saranno collegate alla posizione di un repere esterno posizionato a livello cutaneo, risultando come surrogato del target tumorale, tale repere essendo posto a livello cutaneo tra processo xifoideo ed ombelico tenderà a seguire il movimento respiratorio in maniera consensuale al target mediante l'impiego di dispositivi ottici, solitamente telecamere all'infrarosso.

Dalla sequenza di immagini acquisite con la registrazione delle posizioni del repere, condizionate dal respiro, si procederà con l'identificazione della reciproca posizione del bersaglio e dei reperi ottici, permettendo così al software la gestione dell'erogazione solamente quando la posizione dei reperi ottici sarà all'interno delle posizioni approvate.

MR IGRT

Le recenti tecniche di MR-IGRT mirano a sfruttare l'alto contrasto dei tessuti molli tipico delle immagini ottenute mediante risonanza magnetica. Questo obiettivo è motivato dalla necessità di ottenere una migliore visualizzazione del bersaglio durante l'esecuzione della radioterapia e della risposta al trattamento, al fine di valutare l'efficacia delle terapie radianti.

Le immagini a risonanza magnetica risultano particolarmente sensibili ai cambiamenti nei tessuti molli, il che consente di rilevare eventuali alterazioni o riduzioni della massa tumorale, oltre a identificare possibili effetti collaterali nei tessuti sani.

Inoltre, l'utilizzo delle immagini a risonanza magnetica nella guida del trattamento consente anche la possibilità di identificazione di marcatori biologici o di indicatori molecolari all'interno del tessuto tumorale. Questi marcatori potrebbero rivelare informazioni sulla risposta del tumore alla terapia e fornire indicazioni preziose sulla necessità di regolare o adattare il piano di trattamento in corso.

Le più recenti unità di trattamento associano al LINAC da 6 MV uno scanner MR da 1,5 Tesla montato su rotaie con speciali bobine appositamente modificate per l'utilizzo in campo oncologico, le quali permettono di estendere il FOV permettendo una visione adeguata dei distretti anatomici da trattare.

Le procedure attuate prevedono:

- Attuazione dei piani di simulazione virtuale. Utilizzando l'imaging a risonanza magnetica, è possibile ottenere immagini ad alta risoluzione dei tessuti molli e delle strutture anatomiche. Questo consente di pianificare in modo preciso il trattamento radioterapico, identificando con precisione la posizione del tumore e dei tessuti circostanti.
- Radioterapia a fasci esterni a guida MR. L'uso della risonanza magnetica per guidare la somministrazione di radiazioni esterne permette di monitorare in tempo reale l'area di interesse durante il trattamento. Questo consente di adattare il piano di trattamento in base a eventuali spostamenti o cambiamenti nella forma del tumore o dei tessuti circostanti.

L'elevato contrasto dei tessuti molli ottenuto mediante l'imaging a risonanza ha permesso di contribuire in maniera univoca alle molteplici esigenze richieste dalle immagini radioterapiche, permettendo di conseguenza un aumento della precisione del contorno di molteplici siti patologici nella risoluzione spaziale che risulta particolarmente migliorata con la RM (in particolare nelle lesioni prostatiche, addominali, encefaliche, del plesso brachiale e delle ghiandole salivari).

Oltre all'eccezionale capacità di imaging per l'identificazione dei tessuti, è possibile sfruttare metodiche avanzate di imaging funzionale. Queste tecniche si basano sulla comprensione delle caratteristiche microscopiche e biochimiche dei tessuti, aggiungendo ulteriori strumenti all'arsenale diagnostico e terapeutico della radioterapia. In particolare, l'accelerata proliferazione cellulare tipica delle zone tumorali conduce a una maggiore densità cellulare, riducendo lo spazio extracellulare.

L'imaging funzionale può fornire indicazioni che possono rivelarsi particolarmente utili per una adaptive radiotherapy modulata sulla risposta del tumore durante il trattamento.

Attualmente, i benefici clinici delle nuove apparecchiature MR IGRT sono in corso di valutazione, soprattutto in relazione al costo notevole di tali attrezzature.

5.3 Principali limiti della RT a guida d'immagine

Senza dubbio, l'implementazione dell'IGRT ha apportato notevoli vantaggi nel migliorare la precisione e la qualità complessiva dell'erogazione della radioterapia. Tuttavia, è importante considerare che questa metodica non è immune da alcune limitazioni e potenziali controindicazioni. Uno degli svantaggi significativi è legato all'incertezza nella delineazione accurata del profilo tumorale. Sebbene possa sembrare logico ridurre i margini di trattamento basandosi sulla fiducia nell'efficacia dell'IGRT nel ridurre gli errori, una riduzione eccessiva dei margini potrebbe in realtà compromettere il trattamento stesso.

Ridurre eccessivamente i margini potrebbe portare a una minore copertura del tessuto tumorale, aumentando il rischio di lasciare parti della lesione non trattate. Pertanto, è necessario bilanciare con attenzione la riduzione dei margini con l'obiettivo di garantire una copertura adeguata dell'area bersaglio. Allo stesso tempo, è importante sottolineare che le prove cliniche che dimostrano un miglioramento significativo e misurabile nei risultati grazie all'IGRT sono ancora limitati.

Va riconosciuto che, nonostante i vantaggi offerti dall'IGRT, la qualità delle immagini prodotte da questi sistemi risulta ancora notevolmente inferiore rispetto alle immagini ottenute attraverso le CT utilizzate per scopi diagnostici. Questo divario nella qualità dell'immagine può limitare la precisione della guida e dell'adattamento radioterapico.

Inoltre, l'utilizzo di CT a fascio conico può comportare tempi di acquisizione più lunghi, portando alla presenza di artefatti da movimento respiratorio che possono alterare l'accuratezza delle immagini e quindi dell'erogazione del trattamento.

Un'ulteriore limitazione è rappresentata dalla mancanza di correzioni di rotazione nella maggior parte dei sistemi IGRT attualmente disponibili sul mercato. Questa carenza può influire sulla precisione e sull'accuratezza del trattamento, specialmente quando si tratta di target localizzati in posizioni non ortogonali rispetto al sistema di imaging.

Un ulteriore aspetto di rilievo da considerare nell'adozione dell'IGRT è l'aumento della dose integrale radiante a cui il paziente è esposto a causa dell'acquisizione di numerosi set di immagini durante il trattamento. Questo può aumentare il rischio di sviluppare lesioni maligne radioindotte nel lungo periodo, dovuto all'aumentato assorbimento di dose.

Inoltre, l'acquisizione giornaliera di immagini comporta un aumento della complessità del

processo di pianificazione terapeutica e della somministrazione. Questo può richiedere più tempo e risorse, influenzando il flusso di lavoro del reparto radioterapico. Pertanto, sarà essenziale implementare rigorose misure di garanzia della qualità a tutti i livelli, dall'acquisizione delle immagini alla pianificazione e all'erogazione del trattamento. Queste misure garantiranno un trattamento efficace e sicuro, minimizzando il rischio di errori e garantendo che i potenziali benefici clinici dell'IGRT superino qualsiasi rischio aggiuntivo associato all'aumento della dose radiante e alla complessità procedurale.

Inoltre, è necessario stabilire quali siano il ruolo del medico e del TSRM nella gestione delle immagini derivanti dalla IGRT e delle decisioni da prendere.

6. NORMATIVA SUL RUOLO DEL TSRM NELLA GESTIONE DELLE IMMAGINI.

Come abbiamo notato l'utilizzo di metodiche a guida d'immagine seppur relativamente recente, ha riscontrato un notevole successo, dovuto all'innumerabile quantità di vantaggi apportati nelle attuali metodiche radioterapiche; infatti, le moderne e più attuali tecnologie IGRT consentono la visualizzazione diretta del bersaglio e dei tessuti molli circostanti, permettendo un ottimale confronto con la scansione CT acquisita durante il processo di simulazione virtuale.

Come descritto nel capitolo precedente esistono molteplici modalità adottate oggi per l'attuazione della radioterapia a guida d'immagine, classificabili e distinguibili essenzialmente in base alla necessità clinica del trattamento e dalla tipologia delle attrezzature in dotazione nei Centri di Radioterapia. L'ampia diffusione e l'incremento dell'utilizzo delle apparecchiature per la radioterapia a guida d'immagine hanno sollevato crescenti interrogativi su come ottimizzare l'utilizzo delle molteplici e complesse risorse che tali metodiche offrono all'interno delle diverse Unità Operative.

Passaggio cruciale successivamente all'acquisizione delle immagini, sarà infatti l'attuazione delle procedure di correzione online, le quali come descritto, prevedono l'analisi delle informazioni acquisite, il loro confronto con le immagini di pianificazione radioterapica e l'eventuale correzione di possibili errori di posizionamento, per eliminare eventuali errori sistematici e/o casuali.

L'approccio per l'analisi delle immagini mediante controllo online o offline richiederà indubbiamente un'elevata preparazione e qualificazione, in particolare per quanto riguarda conoscenze anatomiche e di valutazione radiologica da parte dell'operatore responsabile, anche se attualmente il contributo tecnico nella gestione delle immagini IGRT rimane confinato esclusivamente al controllo online, in quanto le correzioni offline risulteranno una pratica affidata generalmente al medico.

Occorre sottolineare come attualmente il ruolo del tecnico di radioterapia nell'assicurare trattamenti affidabili e precisi, specialmente durante la somministrazione di dosi elevate in trattamenti complessi, non debba essere sottovalutata richiedendo comunque un'elevata competenza e attenzione per garantire un'erogazione ottimale ed efficace. Nonostante ciò,

è importante far osservare che la ricerca in ambito tecnico ha purtroppo registrato progressi più lenti rispetto ad altre figure professionali, influenzando negativamente la capacità di innovare e migliorare le pratiche tecniche, rendendo cruciale un maggiore investimento in questo settore.

Partendo da ciò risulterà fondamentale considerare l'evoluzione tecnologica e la crescente complessità di gestione ed ottimale utilizzo delle apparecchiature in ambito radioterapico soprattutto alla luce della implementazione di nuove tecniche che hanno caratterizzato questa disciplina negli ultimi anni. La ottimale gestione delle risorse umane presenti all'interno dell'unità operativa risulta quindi indispensabile per consentire il miglior utilizzo delle attrezzature disponibili e questo comporta la necessità di un training ed aggiornamenti costanti del personale operante. Risulterà quindi fondamentale un'adeguata formazione del personale tecnico sulle modalità di valutazione e controllo delle metodiche IGRT atte alla creazione di figure competenti, in grado di assicurare un miglioramento della suddivisione dei compiti, ottimizzando l'impiego risorse all'interno dell'unità complessa di radioterapia e permettendo una gestione ottimale del carico lavorativo.

6.1 Ruolo del tecnico

L'aumentato ricorso alle metodiche IGRT si è dimostrato nella pratica quotidiana esser particolarmente impegnativo per il personale TSRM, che è l'esecutore diretto del trattamento sia nella fase di verifica IGRT che della erogazione del piano di cura. Il tecnico ha un ruolo impegnativo e sempre più delicato per cui abbisogna delle adeguate competenze e di un dialogo costante con il personale medico che deve in alcuni casi autorizzare decisioni critiche per la correttezza e la precisione nell'esecuzione del trattamento.

La carenza di personale medico, che talora limita la sua presenza costante durante l'esecuzione delle metodiche IGRT, oltre che altamente stressante per entrambe le figure può essere causa di forti rallentamenti nel normale flusso lavorativo quotidiano e potrebbe minare la corretta immobilizzazione del paziente con una prolungata attesa tra la verifica IGRT e l'erogazione della dose.

Per tale ragione l'utilizzo di deleghe nella gestione delle immagini IGRT risulta oggi una

pratica comune e sempre più diffusa.

L'aspetto della formazione e del training specifico per il TSRM gestore di sistemi IGRT e nella valutazione delle immagini prodotte risulterà quindi fondamentale, ed è comunque importante ribadire come definito dal documento ASTRO (American Society for Radiation Oncology) del 2013, come sia compito del medico radioterapista la supervisione, modifica ed approvazione delle immagini acquisite, così come della procedura stessa. Tuttavia, bisogna sottolineare come in tale documento non sia mai stato specificato chiaramente se il controllo medico debba esser eseguito mediante la presenza di quest'ultimo durante la procedura online oppure limitarsi ad un semplice controllo durante la supervisione delle immagini offline. Ne consegue che nella pratica routinaria avremmo interpretazioni variabili sulle procedure di gestione delle immagini, per l'assenza di linee guida esaustive ed univoche; nel corso del tempo si è notata una sempre maggiore delega dei compiti per il radiation therapist (controparte anglosassone del TSRM adibito all'erogazione del trattamento radiante) creando una figura polifunzionale e fondamentale nell'ottimale gestione del work flow.

Nella realtà inglese, il ruolo del tecnico ha acquisito sempre più responsabilità nella pratica delle metodiche IGRT, supportato da costanti aggiornamenti attraverso le linee guida pubblicate dal Royal College of Radiologists, che si sono dimostrate essenziali poiché consentono al personale tecnico di gestire in modo efficiente le immagini utilizzate nell'IGRT, con conseguente riduzione del carico di lavoro complessivo.

Tuttavia, è importante sottolineare che, nonostante la semplificazione delle attività quotidiane mediate l'ausilio di tecnologie sempre più all'avanguardia, il tecnico di radiologia debba possedere una formazione e una competenza approfondita nella corretta visualizzazione e interpretazione delle immagini. Questo è particolarmente importante quando si considerano i cambiamenti anatomici che potrebbero influenzare la posizione del tumore e degli organi circostanti. Inoltre, il riconoscimento tempestivo dei cambiamenti dovuti a condizioni cliniche del paziente risulterà cruciale, e in caso di dubbi, la necessaria ed immediata segnalazione al personale medico competente.

In questo contesto, le linee guida del Royal College of Radiologists fungono da risorsa fondamentale per garantire che i tecnici di radiologia siano adeguatamente formati e preparati a svolgere il loro ruolo in modo sicuro ed efficace nella pratica dell'IGRT.

Risulta affine alla realtà inglese l'impostazione dei documenti redatti dalla Società Australiana di Radiologia, la quale già da molti anni prende in considerazione la possibilità di sviluppo professionale dello staff tecnico, in particolare nell'acquisizione di nuove conoscenze tecnologiche e tecniche oltre che dell'ampliamento della componente teorica.

Dimostrazione della maggiore integrabilità del tecnico nell'ambiente radioterapico risulta il confronto eseguito in Francia tra le figure mediche e tecniche nella valutazione degli spostamenti eseguiti dalle due figure mediante il controllo di 84 pazienti trattati per lesioni alla prostata, capo-collo, torace e mammella, mediante la supervisione di un totale di 240 immagini planari. Il risultato ottenuto dimostrò minime variazioni tra i due gruppi mediante un intervallo di coincidenza pari al 95% con solamente un 2,5% di immagini non conformi, ovvero 6 immagini su 240, raggiungendo invece una concordanza pari al 100% nell'analisi delle immagini prostatiche e polmonari, 97,2% per quanto riguarda le immagini del capo-collo e 96,2% per le immagini mammarie.

Confronto simile è stato eseguito in Australia con la valutazione della differenza tra la supervisione medica e tecnica di immagini volumetriche CB-CT (cone-beam CT) dei tessuti molli nell'allineamento del target tumorale con il GTV in 15 pazienti affetti da neoplasia polmonare. La principale differenza nella correzione della distanza dell'isocentro fu di 0,40 cm tra le figure del medico oncologo e radiologo, 0,51 cm tra tecnico di radioterapia e medico oncologo e 0,42 cm tra tecnico e medico radiologo. Con un intervallo di confidenza pari al 95% ovvero inferiore al limite di 0,5 cm dimostra come il matching del GTV acquisito durante la fase di simulazione con le immagini ottenute attraverso le tecniche CB-CT, seguito dal confronto dei tessuti molli eseguito dal tecnico, possa essere considerato equivalente a quanto eseguito dal medico oncologo.

Da ciò si evince come nei paesi anglosassoni ed europei si sia sviluppata negli anni una crescente fiducia nella formazione specifica e nelle capacità del tecnico di radioterapia nella gestione dei sistemi IGRT. Questi dati verranno successivamente confermati dal sondaggio anonimo, somministrato ad oltre 600 medici radioterapisti iscritti all'ASTRO, il quale ha rilevato come la maggior parte di essi (54%) affidi la gestione delle procedure IGRT al tecnico senza la presenza del medico alla console dell'unità di trattamento.

Come abbiamo notato a livello internazionale, in particolare nella realtà inglese, il tecnico risulta una componente essenziale nella gestione delle immagini, e di conseguenza si registra

un ampio consenso nella letteratura scientifica sulla necessità di implementare un'adeguata formazione teorica oltre che pratica, correlata alle tecnologie IGRT peculiari di ogni centro.

La presenza di tali documenti è essenziale per favorire un clima di completa collaborazione ed integrazione all'interno del team multidisciplinare caratteristico delle unità complesse di radioterapia e un migliore controllo del flusso lavorativo, maggiore sicurezza, ottimale distribuzione delle risorse e delle competenze ed una maggiore chiarezza di responsabilità.

Riassumendo, a livello internazionale il ruolo del tecnico risulta sempre più essenziale; infatti, tale figura risulta attualmente integrabile in nuove aree di competenza e, considerando il rapido sviluppo tecnologico nel campo radioterapico, risulta appunto necessario ed auspicabile un adeguamento professionale mirato. In Europa risulta ormai pratica comune l'utilizzo di metodiche oltremodo complesse, in particolare le tecniche radioterapiche adattative, dimostrando come il ruolo del tecnico debba aggiornarsi seguendo l'evoluzione rapida e costante delle tecniche e delle tecnologie radioterapiche.

Per quanto riguarda l'attuale situazione nella gestione delle immagini IGRT nelle numerose unità di radioterapia presenti sul territorio italiano, si può fare riferimento al sondaggio promosso dall'AITRO (Associazione Italiana Tecnici di Radioterapia Oncologica) negli oltre 180 centri di radioterapia dislocati nell'intero territorio nazionale. Tale sondaggio venne proposto mediante domande mirate riguardanti i livelli di autonomia attualmente concessi alla figura del tecnico nella valutazione delle immagini, presenza di protocolli specifici e la disposizione di corsi di formazione mirati. Nonostante la partecipazione non sia stata particolarmente elevata, attestandosi intorno al 38% del totale, va sottolineato come tale sondaggio abbia suscitato un notevole interesse, con un tasso di risposte affidabili dal momento che la partecipazione era completamente autonoma da parte dei professionisti dimostratosi interessati all'argomento.

La prima ed importante informazione che viene evidenziata dal sondaggio risulta esser come la maggior parte dei centri radioterapici disponga di tecnologie IGRT, con netta preponderanza dell'utilizzo routinario di pratiche CB-CT, dimostrandosi in linea con la tendenza internazionale.

Alla domanda riguardante a chi spetti il controllo delle immagini acquisite si evince come la supervisione medica sia preferita nel 91.55% dei casi, in particolare se eseguito da medici

radioterapisti; nonostante ciò, vi è però una buona quota di centri, circa il 66%, che utilizza le figure del tecnico di radioterapia, in modo particolare nella supervisione delle immagini CB-CT nelle sessioni di controllo online.

Occorre però sottolineare come in una percentuale pari al 16.9% i tecnici coinvolti in tali procedure non partecipano alle attività di supervisione online.

Importante evidenza sottolineata dal sondaggio risulta esser la mancanza in molti centri di corsi riguardanti il training del tecnico di radioterapia per quanto riguarda la valutazione delle immagini IGRT, preferendo la formazione sul campo senza una previa formazione teorica; in questi casi è facilmente intuibile come in tali strutture prive di programmi formativi avremmo la presenza di TSRM scarsamente inseriti nel processo valutativo.

Bisogna comunque considerare che nel 66% dei casi in cui il tecnico valuterà le immagini, circa 2/3 di essi non presentano una formazione formalizzata, ma principalmente incentrata sulle caratteristiche procedurali e tecniche adottate dal centro in esame. Per quanto riguarda le realtà in cui sono stati realizzati corsi formativi, registriamo l'utilizzo di diverse metodiche d'insegnamento, la più diffusa delle quali risulta l'utilizzo di training sul campo, seguita dall'utilizzo di lezioni frontali e solo in pochi casi è stata utilizzata la formazione a distanza.

Tutto ciò dimostra come la componente della formazione del tecnico si configuri principalmente attraverso una progressiva acquisizione derivante dall'esperienza lavorativa all'interno della Unità Operativa, diversamente dalle tecniche formative del mondo anglosassone.

L'utilizzo di metodiche IGRT risulta esser una componente chiave delle attuali procedure di radioterapia, per tale ragione una robusta base teorica risulta essenziale per i tecnici che si accostano a questa disciplina; la formazione del personale e il mantenimento delle competenze riguardanti l'IGRT sono fondamentali anche per garantire l'efficacia dei trattamenti e la sicurezza dei pazienti. Infatti, programmi di formazione completi assicurano l'implementazione di protocolli standardizzati per tutto il personale, garantendo uniformità a livello di conoscenze all'interno della componente tecnica del team radioterapico portando ad una riduzione della variabilità interosservatore, con conseguente miglioramento di sicurezza ed efficienza.

Le componenti fondamentali della formazione riguardanti lo staff che utilizza la IGRT dovrebbero assicurare:

- Comprensione della modalità di acquisizione.
- Conoscenza dei protocolli.
- Competenze in ambito di decisioni making e problem solving.
- Conoscenze di valutazione dell'idoneità di trattamento e modificazione del piano.
- Giustificazione all'esposizione e comprensione dell'ambito di applicazione della pratica.
- Conoscenza dell'anatomia, nonché delle problematiche mediche comunemente previste.
- Comprensione della legislazione.
- Conoscenza dei processi IGRT.

6.2 Responsabilità professionale

Come abbiamo rilevato l'utilizzo delle tecnologie IGRT è ampiamente presente nel nostro Paese, ma, nonostante ciò, persistono ancora alcune criticità riguardanti l'attribuzione di responsabilità nell'ambito della prestazione dei trattamenti oncologici, che comprendono un gruppo numeroso e complesso di prestazioni erogabili, ognuna delle quali richiede diverse conoscenze e processi operativi di più professionisti sanitari. Inoltre, tra le principali criticità da considerare possiamo registrare imprecisione nella somministrazione della terapia, dovuta all'eccessivo tempo trascorso sul lettino di trattamento da parte del paziente che può comportare spostamenti involontari del paziente e variazioni di riempimento degli organi, difficoltà di avere a disposizione una figura medica adibita alla valutazione del corretto set up e successivo controllo dei volumi di trattamento acquisiti mediante metodiche IGRT, oltre alla necessità di ottimizzazione del work flow in particolare nella gestione delle tempistiche di trattamento.

Partendo dalla conoscenza delle competenze professionali, campo di attività e responsabilità del tecnico di radiologia risulterà possibile inquadrare l'effettivo contributo nelle pratiche radioterapiche e successivamente nell'utilizzo delle metodiche IGRT, rimanendo all'interno dei vincoli di responsabilità imposti, senza inficiare l'ottimale riuscita del trattamento.

Il tecnico sanitario di radiologia medica, responsabile delle prestazioni tecniche, collabora nella fase di pretrattamento insieme al team multidisciplinare, risultando responsabile dell'attuazione del piano di trattamento nelle diverse fasi di posizionamento e

riproducibilità, collaborando nell'impostazione del trattamento e nell'effettuazione di quest'ultimo seguendo rigorosamente la predisposizione indicata dal medico. Da tali premesse bisognerà quindi inquadrare, valutare e identificare il possibile ruolo del tecnico di radioterapia nel processo di gestione e valutazione delle immagini IGRT, successive all'acquisizione con modalità online.

Essendo tale pratica definita essenzialmente come un confronto fra due immagini (tra l'acquisizione di simulazione ed il controllo online) senza una valutazione a fine diagnostico o di pianificazione del trattamento, la procedura IGRT dovrà essere condivisa tra medico radioterapista e tecnico di radioterapia con precise attribuzioni concordate congiuntamente. Nonostante l'esecuzione di eventuali spostamenti durante il confronto online sia considerata una semplificazione del controllo offline, non presentando la raccolta di misurazione ed esecuzione di complessi calcoli, dovrà comunque essere veloce, semplice e priva di ambiguità, per evitare che una elevata pressione lavorativa possa compromettere la corretta esecuzione del trattamento; inoltre eventuali spostamenti dovranno essere prontamente comunicati al medico radioterapista, che resta il responsabile della prestazione nella sua interezza per tutti gli aspetti clinico-radioterapici.

Va sottolineato quindi come l'introduzione dell'IGRT abbia modificato in maniera non trascurabile il lavoro del tecnico di radioterapia, in particolare, per quanto concerne la valutazione ed il confronto delle immagini volumetriche con la CT di simulazione, ponendo grossi interrogativi sui gradi di autonomia ottenibili da tale figura professionale, anche se l'attuale percorso di studio fornisce le competenze per poter comprendere tali procedure e conferire un ruolo attivo nella gestione autonoma in sala di trattamento. Tuttavia, al di là della formazione scolastica, il tecnico deve essere espressamente formato da medici e fisici del reparto sulla metodica di IGRT impiegata in quella struttura, per comprenderne a fondo il significato e le modalità ottimali di acquisizione e confronto con le immagini della simulazione e pianificazione. Inoltre, è indispensabile il supporto di protocolli scritti che stabiliscano le procedure di verifica, le competenze e responsabilità di ogni sua fase secondo i limiti stabiliti; infine è auspicabile l'individuazione di procedure di condivisione e collaborazione tra i diversi professionisti sanitari formanti il team radioterapico, indicando le diverse aree di competenza seguendo l'esempio inglese, in particolare nella fase di valutazione ed analisi delle immagini prodotte. Ciò è in accordo con quanto previsto dal Core Curriculum dei tecnici di radioterapia nonché dalle indicazioni del direttivo AITRO.

6.3 Considerazioni finali

L'evoluzione dell'esperienza europea ed internazionale nel settore della radioterapia sta chiaramente dimostrando una crescente consapevolezza dell'importanza del ruolo del tecnico di radioterapia nel processo di trattamento radioterapico e la professionalità di quest'ultimo nell'utilizzo di attrezzature e tecniche sempre più complesse. È necessaria la presenza all'interno dei piani di studio adibiti alla formazione di nuovo personale tecnico di corsi che mirino all'insegnamento e comprensione dei numerosi sistemi IGRT attualmente disponibili insieme alla valutazione clinica e della qualità delle immagini, nonché dei sistemi di matching tra i diversi set di immagini. Tale incremento delle competenze tecniche del personale TSRM e delle capacità di valutazione delle immagini online, risulterebbe un valido aiuto nell'agevolazione del flusso lavorativo all'interno dell'unità operativa complessa di radioterapia.

Nonostante ciò, le attuali norme vigenti italiane non disciplinano correttamente quale attività possa essere eseguita in totale autonomia dal tecnico di radioterapia.

L'assenza di linee guida condivise ed univoche presuppone l'assunzione di responsabilità del tecnico unicamente nella supervisione e controllo delle immagini prodotte, solamente se presenti procedure o protocolli aziendali, come sancito dal DM 746/94, il quale afferma che il tecnico di radioterapia agisca «*secondo protocolli diagnostici e terapeutici preventivamente definiti dal responsabile della struttura*», sottolineando l'assenza di univocità nelle competenze del tecnico nonostante la crescente preparazione offerta dai corsi di laurea, insieme ai costanti insegnamenti acquisiti nella pratica quotidiana, anche se non ufficialmente formalizzati.

È opportuno che ogni struttura provveda alla stesura di protocolli operativi tenendo in considerazione anche la figura del tecnico, stabilendo i diversi margini di tolleranza, ossia quale range di errore di set up tra il pianificato e l'osservato possa essere accettabile per le diverse procedure, tenendo in considerazione i diversi margini di espansione CTV-PTV adottati per quello specifico trattamento in quella determinata sede, valutando il presidio di immobilizzazione, l'organ motion per la sede e la tipologia di paziente (paziente obeso e quindi più difficilmente posizionabile, ansioso, con posizione antalgica per dolore).

Lo step successivo sarà quindi la definizione dei livelli di azione, ossia dell'atteggiamento da adottare se si registra una deviazione superiore alla tolleranza; tale intervento potrebbe

essere ad esempio il riposizionamento del paziente per deviazioni importanti rispetto alla tolleranza o la ripetizione di un'ulteriore immagine per deviazioni minime.

Risulterà importante inoltre che tali procedure non vadano ad inficiare l'atmosfera di cooperazione e condivisione tra il personale medico e tecnico, per cui tali norme non dovrebbero essere viste come una limitazione o una restrizione delle competenze professionali, ma piuttosto come una forma di tutela a livello professionale, oltre che a fungere da indicatore delle diverse aree di influenza caratteristiche di ogni figura professionale all'interno del team radioterapico, in particolare nella figura tecnica, essendo quest'ultima cruciale nella routine lavorativa, specialmente nella supervisione delle immagini IGRT.

Riassumendo la situazione normativa italiana risulta particolarmente carente per quanto riguarda la definizione delle aree di competenza del tecnico, delegando tale definizione alle diverse unità operative, nonostante il continuo ed inesorabile progresso tecnologico in ambito radioterapico.

Risulta quindi fondamentale che le Società scientifiche e professionali redigano congiuntamente delle linee guida condivise per attribuire i corretti ambiti di intervento alle figure professionali del medico e del tecnico, nell'interesse di assicurare i più moderni ed efficaci trattamenti radioterapici ai nostri pazienti oncologici.

7. PROTOCOLLI DI GESTIONE DELLE IMMAGINI IN RADIOTERAPIA ONCOLOGICA A TREVISO.

Dopo un'esperienza preliminare di circa 3 anni in cui i medici hanno seguito direttamente insieme al personale tecnico tutte le procedure di IGRT negli acceleratori lineari dotati di CT CONE BEAME, è stato progressivamente affidato ai tecnici di radiologia una maggiore autonomia decisionale, regolata nel 2018 da protocolli operativi progressivamente aggiornati in base all'esperienza che si andava accumulando e alle nuove tecniche che venivano nel frattempo implementate. Alcuni sono molto dettagliati indicando le modalità di acquisizione e analisi delle immagini e delle modalità con cui effettuare il matching. Vengono inoltre chiaramente indicati i limiti di tolleranza accettati per eseguire o meno gli spostamenti indicati.

In questo capitolo sono presentati i principali protocolli di IGRT operativi nella U.O.C di Radioterapia Oncologica dell'Ospedale di Treviso.

PROTOCOLLO VERIFICHE MAMMELLA 3D

(Versione 15/10/2018)

-Per i trattamenti “**MAMMELLA 3D**” acquisire una **immagine portale alla 1^a seduta che sarà valutata ed approvata dal medico in servizio (da una qualsiasi postazione Mosaiq salvo diversa necessità)**. Se spostamenti **inferiori o uguali a 5 mm** erogare il trattamento e non effettuare nessuna ulteriore verifica.

-Se spostamenti **superiori a 5 mm** , sarà a discrezione del medico in servizio l’atteggiamento da adottare per la seduta successiva.

PROTOCOLLO DI ACQUISIZIONE E VERIFICA DEL SETUP NEI PAZIENTI IN TRATTAMENTO SU ENCEFALO CON TECNICA VMAT-IGRT GIORNALIERA

Importazione della TC di simulazione, definizione della CLIPBOX che deve contenere tutti i Volumi di interesse clinico (PTV) (solo prima seduta).

Impostazione del protocollo di acquisizione della CBCT.

Acquisizione della CBCT.

Matching mediante BONE (T+R).

Verifica dell'accuratezza del matching e del grado di rotazione:

- se rotazioni $> 3^\circ$: riposizionare il paziente.
- se rotazioni $\leq 3^\circ$: proseguire.

Azzerare le rotazioni.

Verifica dell'accuratezza del matching:

In assiale valutare la sovrapposizione delle strutture ossee a livello dei piani passanti per::

- il vertice della teca cranica,
- gli occhi,
- i condotti uditivi.

In sagittale valutare la sovrapposizione delle strutture ossee a livello dei piani passanti per:

- il naso,
- gli occhi

Se spostamenti ≤ 0.3 cm: eseguire gli spostamenti.

Se spostamenti > 0.3 cm: chiamare il medico.

Erogazione del trattamento.



PROTOCOLLO DI ACQUISIZIONE E VERIFICA DEL SETUP NEI PAZIENTI IN TRATTAMENTO SU PELVI CON TECNICA VMAT E 3DCRT PER NEOPLASIE DEL RETTO, DELL'ANO, DELLA PROSTATA E GINECOLOGICHE

Importazione della TC di simulazione, definizione della CLIPBOX che deve contenere tutti i volumi di interesse clinico (PTV) (solo prima seduta).

Impostazione del protocollo di acquisizione della CBCT. Acquisizione della CBCT.

Matching mediante GREY VALUE (T+R). Impostare scala di grigi su MEDIUM

Verifica dell'accuratezza del matching e del grado di rotazione:

- se rotazioni $> 3^\circ$: riposizionare il paziente.

- se rotazioni $\leq 3^\circ$: proseguire.

Azzerare le rotazioni.

Verifica dell'accuratezza del matching:

In sagittale valutare la sovrapposizione delle seguenti strutture ossee:

- Vertebre lombo-sacrali e coccigee

In coronale valutare la sovrapposizione delle seguenti strutture ossee:

- Vertebre lombo-sacrali
- Ischio e pube bilateralmente

In assiale valutare la sovrapposizione delle seguenti strutture ossee:

- Vertebre lombo-sacrali
- Ischio e pube bilateralmente

Se spostamenti ≤ 0.5 cm: eseguire gli spostamenti.

Se spostamenti > 0.5 cm: chiamare il medico.

Erogazione del trattamento.

Sia per i trattamenti VMAT che 3DCRT eseguire CBCT nei primi 3 giorni, poi calcolare media e registrare spostamenti.

Successivamente eseguire verifiche CBCT settimanali.

Se spostamenti > 0.5 cm si ripeteranno nuovamente 3 verifiche giornaliere e verrà calcolata e applicata la nuova media.

**PROTOCOLLO DI ACQUISIZIONE E VERIFICA DEL SETUP NEI PAZIENTI IN
TRATTAMENTO SU PROSTATA E LOGGIA PROSTATICA SENZA PELVI
CON TECNICA VMAT E 3DCRT**

Importazione della TC di simulazione, definizione della CLIPBOX che deve contenere tutti i Volumi di interesse clinico (PTV) (solo prima seduta).

Impostazione del protocollo di acquisizione della CBCT.

Acquisizione della CBCT.

Matching mediante GREY VALUE (T+R).

Impostare scala di grigi su MEDIUM

Verifica dell'accuratezza del matching e del grado di rotazione:

- se rotazioni > 3°: riposizionare il paziente.
- se rotazioni ≤ 3°: proseguire.

Azzerare le rotazioni.

Verifica dell'accuratezza del matching:

In sagittale valutare la sovrapposizione delle strutture ossee a livello dei piani passanti per:

- pube, vertebre sacrali e coccigee

In assiale valutare la sovrapposizione delle strutture ossee a livello dei piani passanti per:

- teste dei femori
- pube

Se presenti calcificazioni intraprostatiche e/o fiducials markers, valutare la corretta sovrapposizione di questi.

Valutare la corretta preparazione di retto e vescica (retto vuoto, vescica piena).

Controllare se il RETTO entra eccessivamente nel PTV (confrontandolo con la ROI RETTO originaria del piano)

Se spostamenti ≤ 0.5 cm: eseguire gli spostamenti.

Se spostamenti > 0.5 cm: chiamare il medico.

Erogazione del trattamento.

Per i trattamenti VMAT eseguire CBCT giornaliera.

Per i trattamenti 3DCRT eseguire CBCT nei primi 3 giorni, poi calcolare media e registrare spostamenti. Se spostamenti > 0.5 cm chiamare il medico.

NB: Per trattamenti prostata/loggia + pelvi vedi "protocollo pelvi"

Dopo 2 ulteriori anni di applicazione sono state introdotte delle variazioni nei protocolli in base all'esperienza accumulata, mediante confronto tra medici e TSRM insieme all'analisi della letteratura scientifica.

Riportiamo di seguito il protocollo di revisione generale.



DISTRETTO DI TREVISO
UNITÀ COMPLESSA DI RADIOTERAPIA ONCOLOGICA
TEL 0422-322200 FAX 0422-322651
Direttore Dottor Alessandro Gava

Treviso, 07/10/2020

Revisione protocollo cone beam.

Dalla revisione dei dati da noi ottenuti e da indicazioni trovate in letteratura vanno aggiornate le nostre procedure di esecuzione di IGRT con cone beam.

Indipendentemente dalla tecnica utilizzata (3D o VMAT) e dal distretto corporeo irradiato, vanno eseguite le prime tre cone-beam e fare la media.

Solo se la media evidenzia spostamenti > 5 mm (non capo collo che rimane 3 mm) potrà essere valutata dal medico l'opportunità di eseguire una cone-beam di verifica della media (anche se spesso variabili così elevate sono legate ad errori di posizionamento).

Se il TSRM, come concordato con il primario, ritiene opportuno può verificare il valore inserito della media con nuova CONE BEAM.

Successivamente controllo settimanale per ogni paziente.

Tale procedura NON si applica nei trattamenti stereotassici e nel caso di trattamento radioterapico a scopo radicale sulla cervice uterina e prostata esclusiva in cui si mantiene il controllo quotidiano. In casi particolari il medico potrà richiedere variazioni a questo protocollo descrivendo obbligatoriamente la motivazione in diario clinico in Mosaiq.

L'esecuzione della CONE-BEAM va fatta secondo questa procedura:

acquisite le immagini modificare la clip-box al fine di ottenere un gradiente di grigi che comprenda segmenti ossei. Il matching va eseguito con la funzione Gray (T+R) o Bone (T+R).

Se le rotazioni sono superiori ai 3° il paziente va riposizionato.

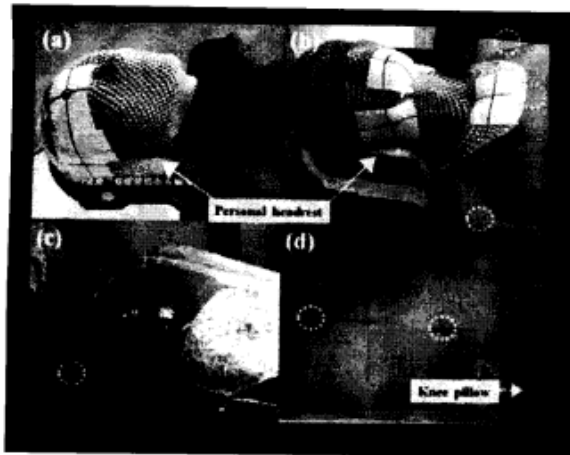
Quindi si resetta il tutto e si fa il matching con la SOLA FUNZIONE GRAY (T).

Vanno eliminati o ridotti al minimo gli spostamenti manuali.

Tra i vari distretti il più complesso risulta il trattamento VMAT della prostata, in quanto l'Internal Margin è molto variabile. A questo si aggiunge la difficoltà di set up con il combi-leg: il tutto si traduce con parametri di rotazione quasi sempre sotto i 3° ma spesso maggiori di 2°.

Dalla revisione dei dati di letteratura si conferma come "l'errore di rotazione" sia il più difficile da ridurre se non si possiede un lettino 6D.

Questa è la procedura utilizzata in alcuni centri per ovviare a tale difficoltà



[See this image and copyright information in PMC](#)

Figure 1 The immobilization systems: brain (a), H&N (b), T&A (c), prostate (d). Thermoplastic fixation mask and personal designed headrest are utilized for brain and H&N sites; double vacuum device is applied to T&A sites; knee pillow is used for prostate site. The dashed circles indicate additional straightening markers to assist alignment in all directions. H&N = head and neck. T&A = thorax and abdomen.

Va quindi eseguito un ulteriore reperi (due?) per lato per ridurre al minimo la rotazione sull'asse Z.

Tale procedura va applicata in tutte le simulazioni per trattamenti pelvici.

Se si dimostrerà utile potrà essere applicata anche nel distretto toracico

J Appl Clin Med Phys
2014 Mar 6;15(2):4418.

Assessment of setup uncertainties for various tumor sites when using daily CBCT for more than 2200 VMAT treatments.

Young-Kee Oh¹, Jong-Geun Baek, Ok-Bae Kim, Jin-Hee Kim.

Anche in questo caso la letteratura conferma la non indispensabilità del controllo quotidiano ma dopo la serie iniziale (3/5 cone beam) si passa a controllo settimanale.

Set-up errors in prostate cancer radiotherapy based on cone-beam computed tomography. M. Trignani , G. Caponigro , M. Di Biase, P. Bagalà , M.D. Falco , A. Vinciguerra , A. Augurio , M. Di Tommaso , L. Caravatta , D. Genovesi.

Ospedale Clinicizzato S.S. Annunziata, Radiotherapy, Chieti, Italy

Radiat Oncol J. 2018 Mar; 36(1): 54–62.

Sono invece confortanti i dati sulle cone beam a livello dei tumori del capo collo. Dopo discussione con gli esperti di tumori della sfera ORL è stato deciso che si fanno le prime tre cone beam successiva media e controllo settimanale fino alla 15° seduta (dose 30Gy): a quel punto il medico di sezione cura o di inizi valuterà la congruenza della maschera e l'eventuale dimagrimento e deciderà come procedere: o continuare con controlli settimanali o quotidiani. Set-up errors in head and neck cancer treated with IMRT technique assessed by cone-beam computed tomography: a feasible protocol

Durim Delishaj, MD,¹ Stefano Ursino, MD,¹ Francesco Pasqualetti, MD,¹ Fabrizio Matteucci, MD,¹ Agostino Cristaudo, MD,¹ Carlo Pietro Soatti, MD,² Amelia Barcellini, MD,³ and Fabiola Paiar, PhD¹

Radiat. Oncol. J. 36 (1): 54-62; 2018

Nei trattamenti palliativi manteniamo le stesse indicazioni seguite finora.

- DISTRETTO OSSEO

Nei trattamenti palliativi a livello osseo che prevedono 5 o 10 sedute, eseguire **la conebeam alla 1^ SEDUTA**; se gli spostamenti registrati risultano **inferiori o uguali a 5 mm, erogare il trattamento e non effettuare nessun ulteriore successivo controllo.**

Se spostamenti superiori a 5 mm sarà a discrezione del medico in servizio al LINAC l'atteggiamento da adottare per le successive sedute.

- DISTRETTO ENCEFALICO

1) Nei trattamenti **PANENCEFALICI STANDARD** (3D conformazionale con 2 campi contrapposti senza tecnica "hippocampal sparing") **eseguire 1 immagine portale (che sarà valutata ed approvata dal medico in servizio, da una qualsiasi postazione Mosaic salvo diversa necessità) e non effettuare nessun ulteriore successivo controllo .**

2) Nei trattamenti con tecnica **"hippocampal sparing"** con tecnica **VMAT**, **eseguire la conebeam alle prime 3 sedute**, poi applicare la media e non effettuare ulteriori successivi controlli . **Se spostamenti superiori a 3 mm consultare il medico in servizio**



Treviso 20/01/2020

PROTOCOLLO “MEDIE SPOSTAMENTI”

- Nei trattamenti (di qualsiasi distretto anatomico) che prevedano l’effettuazione di una media degli spostamenti derivanti dalle conebeam, la media dovrà essere effettuata dal TSRM in servizio che potrà anche eseguire una verifica della correttezza dello spostamento inserito eseguendo una ulteriore CBCT.

- Se gli spostamenti derivanti, rientrano nei range indicati nei protocolli già validati per distretto, procedere con conebeam settimanale, altrimenti interpellare il medico in servizio.

8. BIBLIOGRAFIA.

- [1] Balducci, Mario, et al. *Elementi Di Radioterapia Oncologica*. Società Editrice Universo, 2013, p. 512.
- [2] Gibbons, John P. *Khan's The Physics of Radiation Therapy*. 6th ed., Lippincott Williams & Wilkins, 2019, p. 598.
- [3] Podgorsak, Ervin. *Radiation Oncology Physics a Handbook for Teachers and Students*. International Atomic Energy Agency, 2020, p. 696.
- [4] Levitt, Seymour H., et al. *Technical Basis of Radiation Therapy*. Springer Science & Business Media, 2008, p. 862.
- [6] Tepper, Joel E. *Gunderson and Tepper's Clinical Radiation Oncology*. Elsevier Health Sciences, 2020, p. 1631.
- [7] De Los Santos J, Popple R, Agazaryan N. *Image guided radiation therapy (IGRT) technologies for radiation therapy localization and delivery*. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2013 Sep 1;87(1):33-45.
- [8] White E, Kane G. *Radiation medicine practice in the image-guided radiation therapy era: new roles and new opportunities*. Semin Radiat Oncol. 2007 Oct;17(4):298-305.
- [9] ASSOCIAZIONE ITALIANA TECNICI DI RADIOTERAPIA ONCOLOGICA E FISICA SANITARIA
INDICAZIONI ALL'UTILIZZO DEI SISTEMI DI RADIOTERAPIA A GUIDA DI IMMAGINE
Position Paper AITRO 2018
- [10] McNair HA, Franks KN, van Herk M. *On Target 2: Updated Guidance for Image-guided Radiotherapy*. Clin Oncol (R Coll Radiol). 2022 Mar;34(3):187-188.

[11] Duffton A, Li W, Forde E. *The Pivotal Role of the Therapeutic Radiographer/Radiation Therapist in Image-guided Radiotherapy Research and Development*. Clin Oncol (R Coll Radiol). 2020 Dec;32(12):852-860.

[12] Watt SC, Vinod SK, Dimigen M. *A comparison between radiation therapists and medical specialists in the use of kilovoltage cone-beam computed tomography scans for potential lung cancer radiotherapy target verification and adaptation*. Med Dosim. 2016 Spring;41(1):1-6.

[13] Kurup G. *CyberKnife: A new paradigm in radiotherapy*. J Med Phys. 2010 Apr;35(2):63-4.

[14] Connell PP, Hellman S. *Advances in radiotherapy and implications for the next century: a historical perspective*. Cancer Res. 2009 Jan 15;69(2):383-92.

[15] Franzone P, Fiorentino A, Barra S. *Image-guided radiation therapy (IGRT): practical recommendations of Italian Association of Radiation Oncology (AIRO)*. Radiol Med. 2016 Dec;121(12):958-965.

[16] Grégoire V, Guckenberger M, Haustermans K. *Image guidance in radiation therapy for better cure of cancer*. Mol Oncol. 2020 Jul;14(7):1470-1491.

[17] Korreman S, Rasch C, McNair H. *The European Society of Therapeutic Radiology and Oncology-European Institute of Radiotherapy (ESTRO-EIR) report on 3D CT-based in-room image guidance systems: a practical and technical review and guide*. Radiother Oncol. 2010 Feb;94(2):129-44.

[18] Sterzing F, Engenhardt-Cabillic R, Flentje M. *Image-guided radiotherapy: a new dimension in radiation oncology*. Dtsch Arztebl Int. 2011 Apr;108(16):274-80.

[19] Verellen D, De Ridder M, Storme G. *A (short) history of image-guided radiotherapy*. Radiother Oncol. 2008 Jan;86(1):4-13.