UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
Facoltà di Medicina e Chirurgia

Corso di Laurea in:
TECNICHE DI RADIOLOGIA MEDICA,
PER IMMAGINI E RADIOTERAPIA
Presidente: Prof. G. Polonara

Tesi di Laurea:

TRAINING PRE-TC DI SIMULAZIONE PER L'OTTIMIZZAZIONE DEL CONTROLLO DEL MOVIMENTO RESPIRATORIO

PRE-CT SIMULATION TRAINING FOR THE OPTIMIZATION OF RESPIRATORY MOTION CONTROL

Candidata:
Ludovica Sebastianelli

Relatrice:
Prof.ssa Giovanna Mantello

Correlatore:
Prof. Marco Valenti

Anno Accademico 2025-2026

INDICE

1. INTRODUZIONE 1

1.1 Ruolo della Radioterapia nel trattamento delle lesioni polmonari 3

1.2 Anatomia e fisiologia del polmone 4

1.3 Incertezze di planning e delivery per Organ Motion nel trattamento del polmone 5

1.4 Gestione dell'Organ Motion 6

1.4.1 Tecniche 4D 6

1.4.2 Compressione addominale 7

1.4.3 Breath Hold 7

1.4.4 Free Breathing Gating 8

1.4.5 Free Breathing Tracking 8

1.5 Problematiche di gestione del respiro e necessitá di training 9

2. MATERIALI E METODI 11

2.1 Casistica di studio 11

2.2 Strumenti per la gestione dell'Organ Motion presenti presso la SOD di Radioterapia di Ancona 14

2.2.1 TC di simulazione e sistema RPM 14

2.2.2 LINAC e sistema RPM 20

2.3 Indicazioni cliniche alle differenti tecniche di gestione dell'Organ Motion 23

2.4 Principali procedure di gestione dell'OM presso la SOD di Radioterapia di Ancona 24

2.5 Metodo di preparazione dei pazienti - training 28

2.6 Metodo di studio dei due gruppi 29

2.7 Metodo statistico 31

3. RISULTATI 33

3.1 Aderenza al protocollo proposto 35

3.2 Valutazione dei tracciati respiratori per tecnica 4D 39

3.3 Valutazione dei tracciati respiratori per tecnica Breath Hold 44

3.4 Misurazione della durata delle CBCT-BH 45

4. DISCUSSIONE 48

5. CONCLUSIONI 51

6. BIBLIOGRAFIA 55

1. INTRODUZIONE

Le lesioni neoplastiche toraciche sono soggette ad un continuo movimento legato al respiro spontaneo del paziente; l'assenza di programmi di controllo del movimento respiratorio richiederebbe l'impiego di ampi volumi di dose per garantire la loro corretta irradiazione in ogni posizione assunta durante il ciclo respiratorio. Limitare o prevedere lo spostamento del bersaglio riduce significativamente la dose di radiazione che colpisce il polmone sano (1).

I moderni Acceleratori Lineari si avvalgono di sistemi di *imaging* e di sincronizzazione dell'erogazione del fascio con il respiro del paziente, assicurando che la posizione del tumore rimanga identica e prevedibile in ogni singola frazione della terapia (2).

Il *training* respiratorio è stato introdotto nella pratica radioterapica per istruire e preparare il paziente a collaborare con i moderni sistemi di sincronizzazione; se effettuato durante o prima della TC di simulazione permette di individuare i parametri specifici del paziente, come la capacità di apnea ottimale, la regolarità e la profondità del respiro. Durante il *training* viene spiegata al paziente anche la funzione di alcune interfacce visive che possono mostrare l'andamento del proprio respiro, rendendo possibile un suo coinvolgimento attivo. Inoltre, durante il *training,* i pazienti vengono informati e tranquillizzati che, in caso di respiro irregolare, la macchina interrompe immediatamente l'erogazione del fascio; questa informazione riduce l'ansia da prestazione e lo stress durante la seduta.

La tecnologia all'avanguardia di cui è dotata la SOD di Radioterapia dell'Azienda Ospedaliero Universitaria delle Marche consente il trattamento delle lesioni polmonari in sicurezza. La disponibilità di Acceleratori Lineari di ultima generazione garantisce tecniche di trattamento con modulazione della dose e stereotassiche, guidate dalle immagini, e con sincronizzazione del fascio con il tracciato respiratorio del paziente (3).

È importante che il paziente collabori al fine di garantire un trattamento ottimale e un'adeguata attuazione del protocollo scelto.

Per questa ragione, in Sala TC, prima dell'inizio della procedura di simulazione, viene effettuato un momento di *training* che prevede informazione e allenamento.

Recentemente il *training* viene effettuato in un ambulatorio medico prima dell'inizio della procedura di centraggio, con l'obiettivo di poter personalizzare il tempo di informazione e di allenamento senza prolungare i tempi di occupazione della Sala TC.

L'obiettivo di questa tesi è di studiare i vantaggi dell'anticipazione del training ad un tempo pre-TC di centraggio. Si vuole studiare l'aderenza al protocollo di gestione del respiro indicato dal medico, la riproducibilità del tracciato respiratorio, i tempi di occupazione della sala TC e la gestione dello stato di ansia del paziente.

1.1 RUOLO DELLA RADIOTERAPIA NEL TRATTAMENTO DELLE LESIONI POLMONARI

Secondo le stime dell'AIRC (Fondazione AIRC per la Ricerca sul Cancro), il tumore al polmone è una delle neoplasie a maggiore incidenza in Italia, a seguito solo di quella al seno e al colon-retto ed è la prima causa di morte per tumore (4).

La radioterapia è la tecnica che, insieme alla chirurgia e alla chemioterapia, viene utilizzata per il trattamento di questa patologia. È una metodica che utilizza le radiazioni ionizzanti per distruggere le cellule tumorali. Tali radiazioni agiscono provocando danni alle cellule che, una volta colpite, innescano un meccanismo di riparazione. Questo processo è più veloce se la cellula è sana; quindi, tra una frazione di trattamento e l'altra, hanno il tempo di ripararsi. Le cellule tumorali, invece, necessitano di più tempo; così, frazione dopo frazione, i danni si accumulano e la cellula va incontro a morte (5).

Anche se hanno maggiore capacità di riparazione, i tessuti sani devono essere il più possibile risparmiati durante il trattamento per evitare importanti effetti collaterali. Per questo, è necessario che il paziente assuma, durante tutte le frazioni, la stessa posizione su cui è stato pianificato il trattamento.

Grazie alla tecnica dell'IGRT, ovvero della *Image Guided Radiotherapy*, si acquisiscono giornalmente in *bunker* delle immagini per controllare il corretto posizionamento del paziente, così da avere la certezza di irradiare il *target*. Con delle immagini 2D (kV o MV), confrontate con le DRR (*Digitally Reconstructed Radiograph*), si controlla il *set-up* del paziente, ovvero che la sua posizione sul lettino di trattamento corrisponda con la stessa assunta sul lettino della TC di centraggio. Acquisendo in *bunker* una CBCT (*Cone Beam Computed Tomography*) e confrontandola con la TC di centraggio, invece, si controllano i tessuti molli. Si ha, quindi, la possibilità di applicare degli

spostamenti prima di erogare la dose, così da avere la certezza di andare a colpire il *target*, risparmiando, il più possibile, i tessuti sani circostanti (2).

1.2 ANATOMIA E FISIOLOGIA DEL POLMONE

Il polmone è un organo pari e asimmetrico che fa parte del sistema respiratorio, deputato a fornire ossigeno al sangue e ad eliminare anidride carbonica dallo stesso. Ha una forma conica, con la base che poggia sul diaframma, e con l'apice che sporge al di sopra della clavicola. I polmoni sono contenuti all'interno della gabbia toracica. Nella regione mediana di quest'ultima si trova il mediastino, compartimento anatomico compreso tra le due logge pleuro-polmonari di destra e di sinistra, che ospita diversi organi, tra cui il cuore.

Quest'ultimo, essendo inclinato verso sinistra, fa sì che il polmone sinistro assuma una forma stretta e allungata; il polmone di destra, invece, risulta più largo di quello di sinistra, ma più corto, a causa della presenza del fegato alla sua base. Il polmone di destra è diviso in tre lobi, quello di sinistra in due.

L'aria, dopo essere entrata ed essere stata filtrata dal naso, attraversa la faringe, a seguire la laringe e la trachea. Quest'ultima si biforca, a livello della carena, nei due bronchi principali di destra e di sinistra, che sfociano, rispettivamente, a livello dell'ilo polmonare, nel polmone di destra e in quello di sinistra. I bronchi principali si dividono ulteriormente nei bronchioli, che terminano con gli alveoli polmonari. Gli alveoli sono il luogo in cui avvengono gli scambi gassosi grazie ai capillari presenti sulla loro superficie (6).

Nella respirazione sono coinvolti i muscoli respiratori. Il principale è il diaframma, ovvero il muscolo su cui poggiano le basi polmonari.

Durante la fase inspiratoria, i muscoli intercostali esterni si contraggono, il diaframma, a sua volta, si contrae e si abbassa, permettendo ai polmoni e

alla cavità toracica di aumentare il loro volume, creando l'afflusso d'aria. La fase espiratoria è principalmente passiva a causa del ritorno elastico. Nel caso di un'espirazione forzata, invece, i muscoli intercostali interni si contraggono, i muscoli addominali aumentano la pressione addominale, portando la gabbia toracica verso il basso ed il diaframma verso l'alto, il quale, comprimendo i polmoni, permette l'espulsione dell'aria (6, 7).

1.3 INCERTEZZE DI PLANNING E DELIVERY PER ORGAN MOTION NEL TRATTAMENTO DEL POLMONE

Nella radioterapia del polmone, l'aspetto della salvaguardia dei tessuti sani è reso di più difficile gestione a causa del fenomeno dell'*Organ Motion*, dovuto al fisiologico movimento respiratorio. Il polmone, modificando il suo volume durante le fasi di inspirazione ed espirazione, causa uno spostamento della lesione che, in ogni fase respiratoria, assume una posizione differente. Il fascio di radiazione, se fosse sempre attivo e fisso in un punto, non riuscirebbe a coprire, durante il trattamento, la totalità della lesione, proprio a causa del suo spostamento; provocherebbe, altresì, il danneggiamento del tessuto sano circostante. In base alla posizione della lesione, potrebbero essere coinvolti: tessuto polmonare sano, cuore, fegato e altri organi vicini (8).

Questo problema comporterebbe, quindi, un sotto-dosaggio di parte della lesione e l'insorgenza di effetti collaterali. Più comunemente, nel caso del trattamento delle lesioni polmonari, si potrebbero manifestare: tosse secca, dispnea da sforzo, febbre, polmonite attinica (dopo 2-4 mesi dal trattamento) e fibrosi polmonare in età avanzata (5).

Nel caso di *Organ Motion* dovuto al movimento respiratorio, si parla di "*Organ Motion intrafraction*", ovvero di un movimento che si verifica durante la stessa frazione di trattamento. La lesione assume diverse posizioni in base alla fase del ciclo respiratorio; inoltre, a causa dell'isteresi polmonare,

il rapporto tra il volume polmonare e la pressione intrapolmonare è differente tra l'inspirazione e l'espirazione e, quindi, la traiettoria della lesione in inspirazione ed espirazione potrebbe non essere la stessa (1, 7, 9).

Per il controllo dell'*Organ Motion* nel trattamento polmonare viene sfruttato il fatto che, anche se l'atto respiratorio è un movimento involontario, è comunque possibile controllarne sia la frequenza che l'ampiezza (1).

Nel corso del tempo, sono state sviluppate diverse tecniche per avere un trattamento inficiato il meno possibile dal movimento respiratorio. Vengono utilizzate sia per lesioni toraciche che per quelle dell'addome superiore, zona che risente ugualmente di questo fenomeno.

L'ampiezza del movimento respiratorio varia in base a: fattori correlati al tumore, ovvero la sua sede e se è o meno attaccato alla parete toracica; *compliance* del paziente, ovvero la sua capacità respiratoria, il suo grado di ossigenazione e di ansia; al protocollo di trattamento, quindi la posizione delle braccia e il tipo di immobilizzazione utilizzata (7).

Per scegliere al meglio la tecnica da utilizzare, durante la prima visita radioterapica viene fatta una valutazione clinica: posizione precisa del *target*, *compliance* del paziente, rapporti della lesione con gli organi a rischio.

L'*American Association of Physicists in Medicine* (AAPM), raccomanda una tecnica di gestione del respiro quando la lesione ha un movimento che supera i cinque millimetri in qualsiasi direzione o quando garantisce un notevole risparmio dei tessuti sani (1).

1.4 GESTIONE DELL'ORGAN MOTION

1.4.1 TECNICHE 4D

Il paziente respira regolarmente durante tutto il trattamento. Si acquisisce una TC 4D, ovvero una TC a respiro libero che comprende tutto il ciclo

respiratorio del paziente. La macchina suddivide le immagini creando dieci pacchetti differenti, uno per ogni fase del respiro. Si contornano le posizioni della lesione durante tutte le fasi, dalla massima inspirazione (fase 0) alla massima espirazione (fase 50), ottenendo un volume contenente tutte le posizioni della lesione. Si ha, così, un contorno (ITV, *Internal Target Volume*) che contiene con certezza e precisione gli spostamenti della neoplasia (1, 2).

1.4.2 COMPRESSIONE ADDOMINALE

Si applica, attraverso un compressore, una pressione sull'addome del paziente, così da limitare meccanicamente il movimento del diaframma. Consente di ridurre l'escursione respiratoria. In uno studio dell'AAPM, il movimento della lesione, grazie alla compressione addominale, passa da 12,3 millimetri a 7,0 millimetri (1). Anche se funzionale, questa tecnica non viene spesso utilizzata perché il paziente, avendo questa costrizione continua, potrebbe andare in sofferenza respiratoria (1).

1.4.3 BREATH HOLD

Il trattamento viene erogato quando il paziente trattiene il respiro (*Breath Hold,* BH). La lesione, così, è quasi ferma. Il movimento residuo tollerato è di 5 millimetri (1). È la tecnica più semplice ed efficace se il paziente è compliante, in quanto deve essere in grado di eseguire apnee respiratorie della stessa profondità. Si pianifica il trattamento considerando la lesione ferma, immobilizzata grazie alla cessazione temporanea del movimento respiratorio. Le apnee respiratorie devono essere riproducibili durante tutta la durata del trattamento. L'apnea ideale suggerita dalle linee guida ESTRO ACROP è di moderata profondità, circa il 70/80% della capacità massima (10). Questa tecnica consente anche di ridurre la dose al polmone sano:

durante l'inspirazione, il polmone aumenta il suo volume e, quindi, si irradierà meno superficie polmonare (10, 11, 12).

1.4.4 FREE BREATHING GATING

La macchina è sincronizzata al respiro del paziente ed eroga il fascio in una finestra nota del ciclo respiratorio, rilevata da *marker* esterni o interni. Durante il *planning*, il fisico sceglie la finestra di *gating* in cui l'acceleratore deve erogare la dose e, durante il trattamento, l'erogazione è perfettamente collegata con il tracciato respiratorio. L'acceleratore va in *beam on* solo nella fase respiratoria decisa dal fisico, nelle altre fasi resta in *beam off*. Si ha un rilascio di dose non continuo (11, 12). Solitamente, il trattamento viene pianificato alla fine dell'espirazione, essendo questo il momento che presenta la posizione degli organi maggiormente riproducibile (9).

1.4.5 FREE BREATHING TRACKING

Con questa tecnica il paziente respira spontaneamente ed il sistema segue la lesione durante tutto il trattamento. Si utilizzano dei *marker* esterni, come il sistema RPM che monitora il movimento dell'addome; oppure *marker* interni, come, ad esempio: i *fiducial marker*, l'anatomia visibile mediante l'*imaging*, il diaframma o il tumore stesso. Non sempre il riferimento esterno è sufficiente per seguire la posizione del tumore poiché il movimento esterno non coincide con quello interno (1, 9). Infatti, nella tecnica del *CyberKnife Synchrony*, che è quella più comune di *free breathing tracking*, si utilizza sia un *marker* esterno che si muove con la respirazione, sia uno interno visibile utilizzando l'*imaging* radiografico (13).

Il fascio è sempre in *beam on* e segue continuamente la posizione del tumore. I *MultiLeaf Collimator* cambiano la loro conformazione in base al

movimento e alla forma del *target*, mentre la direzione del fascio si modifica in maniera dinamica.

1.5 PROBLEMATICHE DI GESTIONE DEL RESPIRO E NECESSITÁ DI TRAINING

Le moderne macchine di radioterapia si avvalgono di sistemi di *imaging* e di sincronizzazione dell'erogazione del fascio con il respiro del paziente, assicurando che la posizione del tumore rimanga identica e prevedibile in ogni singola frazione della terapia.

Viene richiesta la collaborazione del paziente a mantenere un respiro regolare (tecnica 4D) o a trattenere il respiro (tecnica BH).

La respirazione irregolare rende infatti impossibile la tecnica 4D. Presenza di dispnea o respiri con profondità e ritmi differenti durante l'acquisizione, fanno sì che le scansioni contengano numerosi artefatti. Le immagini risultano illeggibili ed inutilizzabili per la pianificazione del trattamento; in questi casi, infatti, la registrazione della posizione della lesione potrebbe essere errata (1).

Nella tecnica del *Breath Hold*, d'altra parte, è necessario che il paziente riesca a trattenere il respiro più volte con la stessa profondità. Questa condizione si rende necessaria in quanto il fascio è pianificato per essere erogato durante una fase di apnea sovrapponibile a quella registrata in fase di centraggio. Se il paziente non riesce a trattenere il respiro non è quindi candidabile al *Breath Hold* (10).

Il movimento respiratorio è un movimento che non segue un modello sinusoidale ideale. Durante la respirazione, infatti, si possono verificare delle variazioni di ampiezza, frequenza e profondità del respiro. Per tale motivo è impossibile utilizzare un tracciato respiratorio standard, ma va valutato per ogni singolo paziente (1, 14).

I soggetti affetti da tumore polmonare potrebbero avere di per sé una respirazione difficoltosa a causa della patologia. Essi potrebbero presentare: dispnea, respiro irregolare, aumento o diminuzione della profondità di ogni respiro, pause momentanee nella respirazione o tosse.

Anche l'ansia influisce in questo senso, in quanto la respirazione potrebbe risultare più accelerata ed irregolare: ansia e dolore, secondo recenti studi, riducono la riproducibilità delle apnee (7, 15).

Il *training* respiratorio è stato introdotto nella pratica radioterapica per istruire e preparare il paziente a collaborare con i moderni sistemi di sincronizzazione; se effettuato durante o prima della TC di simulazione, permette di individuare i parametri specifici del paziente, come la capacità di apnea ottimale, la regolarità e la profondità del respiro (10, 14, 16). Durante il *training* viene spiegata al paziente anche la funzione di alcune interfacce visive che possono mostrare l'andamento del proprio respiro, rendendo possibile un suo coinvolgimento attivo. Inoltre, durante il *training* i pazienti vengono informati e tranquillizzati che, in caso di respiro irregolare, la macchina interrompe immediatamente l'erogazione del fascio; questa informazione riduce l'ansia da prestazione e lo stress durante la seduta.

2. MATERIALI E METODI

2.1 CASISTICA DI STUDIO

Lo studio si è svolto nella SOD di Radioterapia dell'Azienda Ospedaliero Universitaria delle Marche, nel periodo gennaio - settembre 2026. Sono stati osservati 50 pazienti con un'età compresa tra i 39 e gli 89 anni, affetti da neoplasia polmonare con diversa sede. I pazienti sono stati divisi in due gruppi: un primo gruppo (Gruppo 1) non istruito con *training* respiratorio pre-TC di simulazione ed un secondo (Gruppo 2) istruito con *training* respiratorio pre-TC di simulazione.

In questa prima tabella sono riportati i soggetti appartenenti al Gruppo 1, non istruiti con *training* respiratorio. Di questi pazienti viene riportata l'età e la sede della lesione.

PAZIENTI GRUPPO 1	ETÁ	SEDE LESIONE
P.A.	78	LSD
D.R.E.	73	LSD e LIS
F.M.	70	LSS
G.B.	85	LID
M.M.	71	LSD
A.G.	77	LSS e LID
V.A.	78	LID
C.I.	70	LSS
P.V.	64	LSS e LID
D.C.P.	62	LSS
I.G.	87	LSS e LID
T.G.	71	LSD
P.G.	39	Mediastino
C.G.	80	LSD
B.A.M.	83	LSS e LID
S.A.	88	LID
C.D.	75	LID
P.R.	59	LSD
P.C.	68	LID
C.M.	71	LID
N.U.	81	LSD
U.G.	80	LID
G.R.	74	LID
L.F.	74	Mediastino

Tabella 1. Gruppo 1: casi non istruiti con training respiratorio pre-TC di simulazione

In questa seconda tabella sono riportati i pazienti appartenenti al Gruppo 2, ovvero coloro che sono stati istruiti con *training* respiratorio pre-TC di simulazione. Ne è stata indicata l'età e la sede della lesione.

PAZIENTI GRUPPO 2	**ETÁ**	**SEDE LESIONE**
P.L.	82	LSD
C.G.	89	LSS
P.E.	81	LSD
P.G.	74	LID
N.G.	77	LSD
G.D.	88	Ilo dx
T.A.	85	LID e LIS
M.M.	87	LSD
F.G.	78	LSS
M.L.	79	LSD
C.M.T.	63	LSS
P.P.	73	LID
C.M.L.	75	LIS
T.F.	61	LSD
C.N.	76	LID
M.L.	63	LID
O.R.	62	LIS
N.T.	78	LSS
G.G.	84	LSS e LSD
M.S.	46	LSS
P.Q.	82	LSS
C.G.	79	LIS
P.G.	84	Lobo medio
S.F.	86	Lobo medio
S.C.F.	74	LID
M.D.	45	LIS

Tabella 2. Gruppo 2: casi istruiti con training respiratorio pre-TC di simulazione

2.2 STRUMENTI PER LA GESTIONE DELL'ORGAN MOTION PRESENTI PRESSO LA SOD RT AOUM

Durante la TC di simulazione si mette in pratica la tecnica di gestione dell'*Organ Motion* proposta nella prima visita radioterapica. Tale tecnica può essere confermata o meno in base alla *compliance* del paziente. È importante fare una valutazione precisa poiché questa tecnica deve essere riprodotta durante tutte le frazioni di trattamento.

2.2.1 TC DI SIMULAZIONE E SISTEMA RPM

La TC di simulazione è l'esame su cui si pianifica tutto il trattamento radioterapico. Non si utilizza per la diagnosi, bensì per studiare la collocazione della lesione e dei tessuti sani. Al paziente viene fatta assumere una posizione specifica, che sarà la stessa durante tutte le frazioni di trattamento. Grazie a questo tipo di TC, il medico riuscirà a contornare i volumi (il *target*, compresa la sua componente microscopica, e gli organi a rischio); il fisico medico potrà calcolare con precisione i punti di ingresso dei fasci di radiazione, così da raggiungere un'adeguata irradiazione del *target*; e la distribuzione ideale della dose al fine di evitare il danneggiamento dei tessuti sani (5).

La TC di simulazione ha delle particolarità rispetto alle normali TC: ha un *bore* più ampio (*Large Bore*) perché, oltre al paziente, devono essere compresi nella scansione anche tutti i sistemi di immobilizzazione; ha un lettino in fibra di carbonio che garantisce lo stesso piano d'appoggio dell'acceleratore lineare; sono presenti dei laser a muro che consentono la centratura del paziente, proprio come nei *bunker* con i LINAC.

Condizione fondamentale è riuscire a trovare la migliore posizione del paziente, sia al fine di un maggiore benessere del soggetto durante tutta la durata del trattamento, sia al fine di una buona riuscita del trattamento stesso.

A tale scopo, vengono utilizzati dei sistemi di immobilizzazione, ovvero degli ausili che garantiscono comfort e sostegno al paziente. Inoltre, essendo indicizzati, consentono di personalizzare il più possibile la posizione in base alle esigenze di ognuno. I sistemi di immobilizzazione vengono agganciati alla tavola *OmniBoard*, una tavola in fibra di carbonio che si posiziona sul lettino della TC di simulazione. È indicizzata e munita di agganci che permettono, come già spiegato, la massima personalizzazione. Durante la TC di simulazione di un paziente con neoplasia polmonare si utilizzano come sistemi di immobilizzazione: un supporto poggiatesta; il sistema *Breast Board*, che consente di appoggiare le braccia e portarle sopra il capo, per poterle escludere dalla scansione del torace; il cuscino *kneefix*, ovvero un supporto in gommapiuma da posizionare sotto le ginocchia, così da avere un appoggio migliore delle gambe ed evitare rotazioni.

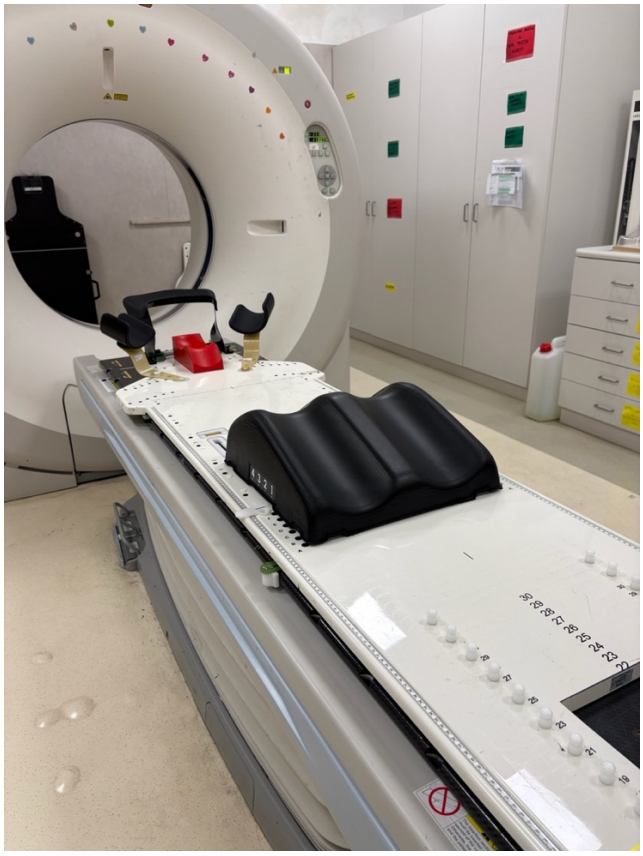


Figura 1. Lettino della TC di simulazione con tavola Omniboard, supporto per il capo (in rosso), sistema Breast Board e cuscino kneefix

Nella SOD di Radioterapia dell'Azienda Ospedaliero Universitaria delle Marche è presente la TC di simulazione *Aquilion Toshiba Large Bore*, di *Canon Medical System*.

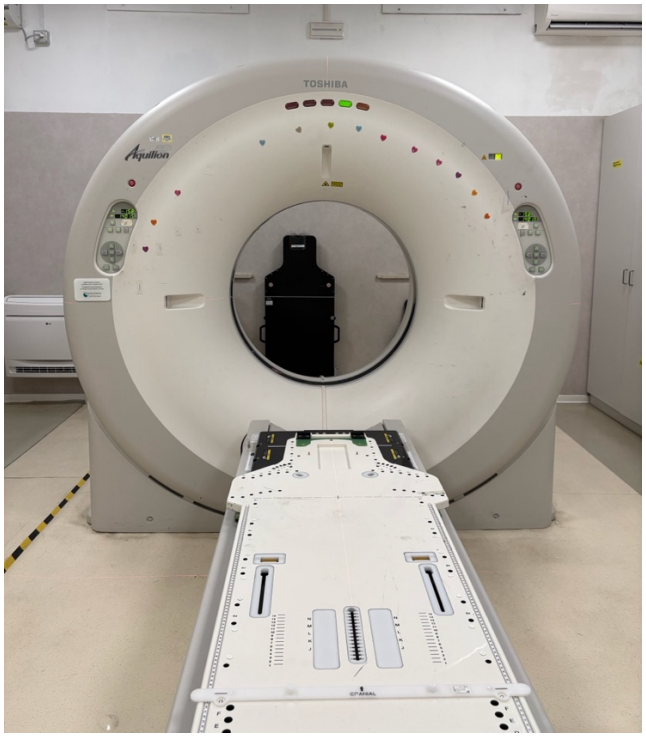


Figura 2. TC Aquilion Toshiba LB presente nella SOD RT AOUM

È una TC dedicata alla radioterapia, grazie alla quale si acquisiscono scansioni su cui si pianificano i trattamenti radioterapici. Essendo una TC di simulazione, ha la caratteristica di avere un *Large Bore* (90 centimetri di diametro), in quanto deve contenere i mezzi di immobilizzazione necessari per ogni paziente. È una TC 16 *slice* e ha una matrice di rilevatori in Gadolinio. Sono disponibili cinque opzioni di FOV (*Field Of View*) di acquisizione, con diametri tra i 24 ed i 70 centimetri. Si ha un filtro "*head*" con un FOV di acquisizione tra i 24 ed i 32 centimetri ed un filtro "*body*" con dei FOV di 40, 55 e 70 centimetri. La scansione può essere acquisita sia in elicoidale che in assiale. La matrice è di 512x512. La corrente al tubo varia da 10 a 500 milliampere, modificabili sia manualmente che con un sistema di modulazione automatica basato sulla densità e sullo spessore della regione

corporea sottoposta a scansione. Il tempo di rotazione può variare tra 0,32 e 1,5 secondi. Sono presenti molti *kernel* di ricostruzione delle immagini (17).

Con questa TC si possono utilizzare i sistemi di controllo del respiro sfruttando il sistema RPM (*Real Time Position Management System*) progettato dalla *Varian Medical Systems* (18).



Figura 3. Sistema RPM

Il sistema RPM di *Varian* è progettato per sincronizzare la scansione con il movimento respiratorio. Viene utilizzato per le acquisizioni del torace e dell'addome superiore. Si riesce a monitorare la respirazione del paziente, rilevando anche eventuali movimenti imprevisti.

Il sistema RPM è formato da un blocchetto in plastica con dei marcatori riflettenti di cinque millimetri di diametro, ognuno rilevabile da telecamere ad infrarossi, che permettono di leggere l'escursione respiratoria e creare un tracciato correlabile alla posizione della neoplasia (14, 18).

Il *marker block* si posiziona nel punto di mezzo della linea congiungente il processo xifoideo dello sterno con l'ombelico, spostato più verso il torace o verso l'addome superiore in base al tipo di respirazione del soggetto. Le

componenti riflettenti vengono colpite dai LED (*Light Emitting Diode*) e, poi, rilevate dalle telecamere di tracciamento ad infrarossi (18).



Figura 4. Telecamera ad infrarossi del sistema RPM

Ad ogni avvio dell'applicativo RPM si deve eseguire una nuova calibrazione della telecamera, controllando che siano visibili i quattro *marker* riflettenti. Prima di iniziare la scansione, il paziente deve essere inserito all'interno del *database* RPM, così da collegare il sistema alla TC di simulazione.

Ciò consente di rilevare il tracciato respiratorio del paziente, permettendo così di acquisire TC in *Breath Hold* o con la tecnica 4D.

1) TC BH

   Nel caso del BH, si guida il paziente a trattenere il respiro in inspirazione. Il sistema RPM registra e mostra l'apnea respiratoria in tempo reale. Si rileva per quanto tempo e a quale profondità il soggetto riesce a trattenere il respiro. Grazie al tracciato prodotto, l'operatore potrà stabilire una *threshold line*, ovvero un *range* di cinque millimetri entro cui devono essere contenuti i movimenti respiratori residui durante l'apnea.

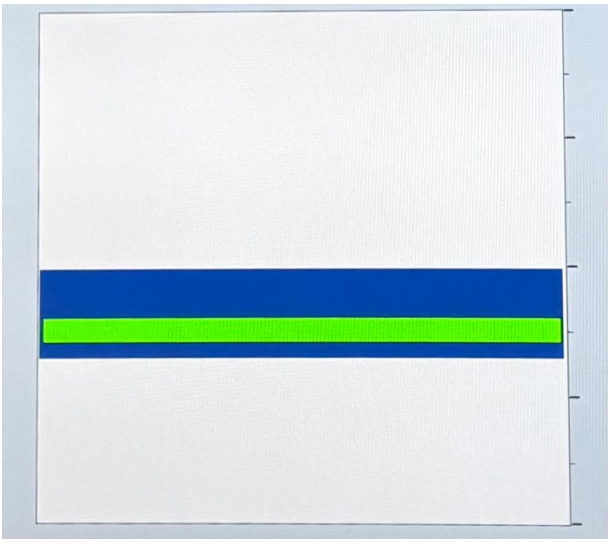


Figura 5. In blu la threshold line, in verde la profondità dell'apnea respiratoria del paziente

In tale modo, il fisico può pianificare il trattamento considerando la posizione della lesione in quella specifica condizione respiratoria. La lesione può essere considerata ferma in quel punto, tenendo conto di un minimo movimento residuo.

2) TC 4D

Nel caso di utilizzo della tecnica 4D, il paziente viene fatto accomodare sul lettino e gli viene chiesto di respirare in modo regolare. Grazie al sistema RPM si visualizza in tempo reale il tracciato respiratorio.

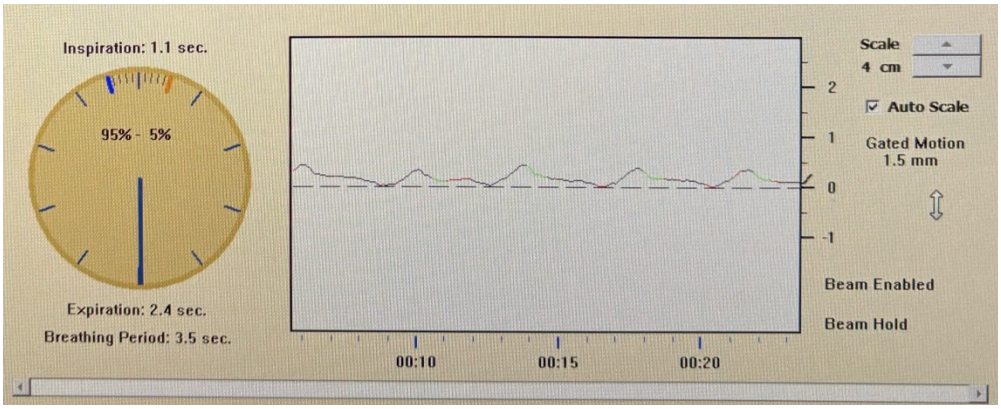


Figura 6. Tracciato respiratorio in Real Time prodotto dal sistema RPM

La TC si sincronizza al tracciato e modifica il *pitch* della scansione così da andare ad una velocità tale da sovra-campionare le zone, acquisendo tutta l'anatomia indicata in ogni fase del ciclo respiratorio (1, 18).

Al termine della scansione, la macchina ricostruisce le immagini "impacchettandole" in dieci fasi differenti in base alla fase del ciclo respiratorio. Se il paziente durante la scansione compie atti respiratori regolari, si ha la rappresentazione del movimento della lesione durante tutte le fasi respiratorie. (18).

Vengono fotografati: la posizione del *marker* RPM, i *markers* di allineamento del paziente ed i sistemi di immobilizzazione utilizzati.

2.2.2 LINAC E SISTEMA RPM

Nella SOD di Radioterapia dell'AOU delle Marche, tra i diversi acceleratori, è presente il LINAC *TrueBeam* STx con *MicroMultiLeaf* HD120 (*Varian Medical System*), con il quale vengono eseguiti i trattamenti *gated*.

Questo tipo di acceleratore permette di erogare trattamenti radioterapici di tipo standard o stereotassici. Le energie utilizzabili vanno da 4 a 20 MV per i fotoni e da 6 a 22 MeV per gli elettroni (19). Presenta una distanza nominale tra il *target* e l'asse di rotazione del *gantry* di 100 ± 0,2 centimetri. L'accuratezza dell'isocentro per *gantry* e collimatore è entro un raggio di 0,5 millimetri (19).

La particolarità di questo specifico acceleratore è di avere configurato un MLC HD120, che ha 120 lamelle in Tungsteno. Sono raggruppate in due banchi da 60 lamelle ciascuno. La regione centrale è costituita da 32 lamelle per banco di 2,5 millimetri di larghezza; quella periferica da 28 per banco di 5 millimetri di larghezza (20). La regione centrale ha una maggiore risoluzione e questo consente una modulazione più fine rispetto ai MLC di maggiore larghezza. Queste dimensioni dei MLC permettono trattamenti di precisione, con una conformazione massima alla forma del *target*.

Le lamelle possono muoversi indipendentemente le une dalle altre e raggiungono una velocità massima di 2,5 cm/s (19).

Grazie a questo sistema si può utilizzare anche un fascio *Flattering Filter Free*, ovvero non filtrato e con maggiore intensità nella sua parte centrale.

L'acceleratore *Varian TrueBeam* STx è indicato per l'erogazione di trattamenti con *gating* respiratorio, perché si ha la possibilità di integrare l'erogazione con i sistemi di monitoraggio (RPM). È anche possibile acquisire *imaging* durante il trattamento e correlare il tracciato respiratorio con la posizione del bersaglio.

Il *TrueBeam* STx, proprio perché attrezzato con micro-MLC e dotato di tecnologia più avanzata di acquisizione e ricostruzione dell'*imaging* in *bunker*, come pure di sistemi integrati di controllo della respirazione, è dedicato alla stereotassi extracranica su molteplici sedi come polmone, fegato, pancreas, prostata, ossa, linfonodi, anche in associazione con terapie sistemiche (3).

Il sistema *TrueBeam* STx permette l'utilizzo del visore ottico (*Visual Coaching Device*), un supporto visivo che aiuta i pazienti a mantenere una respirazione regolare e sincronizzata durante i trattamenti di radioterapia guidata dal respiro.



Figura 7. Visual Coaching Device

1) EROGAZIONE DEL TRATTAMENTO IN BREATH HOLD

   Il paziente viene fatto accomodare sul lettino dell'acceleratore facendogli assumere la posizione scelta durante la TC di simulazione. Per un trattamento in *Breath Hold* si posiziona sul torace il *marker* RPM, così da monitorare in tempo reale la sua escursione respiratoria. Durante questo tipo di trattamento, il paziente deve riprodurre delle apnee inspiratorie della stessa profondità di quella effettuata durante il centraggio. Quando vengono eseguite le apnee, il sistema va in *beam on* e l'acceleratore eroga il trattamento. Quando il paziente torna a respirare normalmente oppure diminuisce o aumenta la profondità, uscendo dalla soglia di riferimento, il sistema va in *beam off* e il fascio viene automaticamente interrotto. L'operatore vede in tempo reale sul *monitor* il tracciato respiratorio. Anche il paziente può seguire la sua respirazione grazie al Visore Ottico posizionato davanti ai suoi occhi. Si ha rappresentata una banda bianca, che segue i movimenti di inspirazione ed espirazione, e una banda verde, che indica la "*threshold line*", ovvero il *range* di profondità che il paziente deve raggiungere con la sua apnea. Se si esce da quella banda verde, la profondità dell'apnea non è adeguata.

2) EROGAZIONE DEL TRATTAMENTO CON TECNICA 4D

   Il paziente viene fatto accomodare sul lettino dell'acceleratore facendogli assumere la posizione scelta durante la TC di simulazione e gli viene posizionato sul torace il sistema RPM. In questo caso, però, l'erogazione viene avviata ed interrotta in base alla fase del ciclo respiratorio. Infatti, il fisico, dopo la TC di simulazione, ha pianificato il trattamento nella fase del ciclo respiratorio più consona alla riuscita dell'irradiazione. Grazie al *marker* RPM, il macchinario va in *beam on* o in *beam off* in base alla fase respiratoria.

2.3 INDICAZIONI CLINICHE ALLE DIFFERENTI TECNICHE DI GESTIONE DELL'ORGAN MOTION

Durante la prima visita radioterapica il medico radio-oncologo propone una delle tecniche di gestione del movimento respiratorio. Per prendere questa decisione deve valutare diversi parametri.

In primo luogo, prende in considerazione la sede del *target*, che può essere:

- Ilare e parailare
- Sopradiaframmatica
- Mantellare
- Apicale

Successivamente, valuta la *compliance* del paziente. Prende visione dell'età, dell'anamnesi e di eventuali esami di funzionalità respiratoria disponibili.

In base a questi requisiti, indirizza il paziente al trattamento in *Breath Hold*, in 4D o a respiro libero. Tenendo in considerazione la posizione del nodulo e la *compliance* del paziente, si stabilisce il protocollo più adeguato di gestione dell'OM.

Nella SOD di Radioterapia dell'AOU delle Marche, per il trattamento delle lesioni polmonari si utilizzano tre tecniche:

1) BH: si utilizza su lesione ilare, parailare, sopradiaframmatica. Se il paziente ha un respiro irregolare, ma è collaborante a mantenere il BH, si può utilizzare anche in caso di lesioni mantellari o medio-apicali.

2) 4D: si utilizza su lesione mantellare o medio-apicale se il paziente riesce a respirare regolarmente.

3) EUPNOICA: si utilizza nei pazienti con respiro irregolare e non collaboranti a tenere il BH.

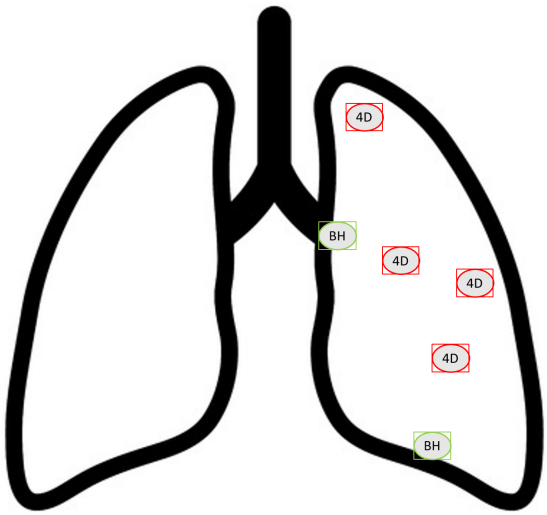


Figura 8. Indicazione alla scelta tra la tecnica del BH e della 4D in base alla sede della lesione.

2.4 PRINCIPALI PROCEDURE DI GESTIONE DELL'OM PRESSO LA SOD DI RADIOTERAPIA DI ANCONA

Presso la SOD di Radioterapia dell'Azienda Ospedaliero Universitaria delle Marche sono stati individuati dei passaggi specifici per ogni tecnica di gestione dell'OM durante ogni fase del processo operativo.

1) FASE DI SIMULAZIONE: durante questa fase si acquisisce una TC che verrà utilizzata per la pianificazione del trattamento radioterapico.

-TECNICA BH: si acquisisce una TC eupnoica, che comprende tutto il polmone e, nel caso di un *target* sopradiaframmatico, anche gli organi dell'addome superiore. Successivamente, si allena il paziente a trattenere il respiro in modo stabile, senza variazioni di profondità. Fatte queste prove, si acquisisce una TC in BH comprendendo tutto il polmone ed eventualmente, nel caso di *target* sopradiaframmatico, anche l'addome superiore.

-TECNICA 4D: si deve allenare il paziente a respirare in modo regolare. Quando si ottiene un tracciato respiratorio adeguato, si acquisisce una TC 4D che comprende tutto il polmone e, nel caso di lesione sopradiaframmatica, anche l'addome superiore. Per completare la fase di simulazione, viene

acquisita una scansione eupnoica che serve per il *planning*. Come per l'acquisizione precedente, si deve comprendere tutto il polmone ed eventualmente anche l'addome superiore.

-TECNICA EUPNOICA: per i pazienti non collaboranti al protocollo del BH o della 4D, si pianifica il trattamento senza utilizzare un metodo di controllo del respiro. Si allena il paziente alla respirazione più regolare possibile e si acquisisce una TC a respiro libero, dalla quale si individuerà il *target*. Nei casi selezionati, si può ottimizzare il protocollo acquisendo delle immagini in fluoroscopia nella sede della lesione, così da valutarne il movimento e definire il PTV.

2) FASE DI CONTOURING: in questa fase si contornano gli organi interni definendo i volumi radioterapici. Si contorna il GTV (*Gross Tumor Volume*), cioè la malattia macroscopica. Intorno ad esso, si contorna anche il CTV (*Clinical Target Volume*), ovvero tutto il tessuto in cui la malattia microscopica potrebbe essersi infiltrata. Attorno al CTV si disegnano dei margini di sicurezza, che compongono il PTV (*Planning Target Volume*): l'*Internal Margin*, margine di sicurezza per compensare il movimento del target (nel caso del polmone ITV, *Internal Target Volume*) e il *Set-up Margin*, che compensa gli eventuali errori di posizionamento del paziente (8). Si contornano anche gli organi sani circostanti, vicini alla lesione, che devono essere al di fuori della traiettoria del fascio di radiazione (OAR, Organi A Rischio) (5).

-TECNICA BH: si utilizza la TC eseguita in *Breath Hold*. Si devono contornare il GTV ed il CTV. Successivamente, si devono aggiungere cinque millimetri attorno alla lesione per definire il PTV, così da compensare l'ITV ed il *Set-up Margin*.

-TECNICA 4D, ci sono tre possibilità per il *contouring*:

- Definire il GTV sulle fasi 0-20-50 della TC 4D, proiettare i contorni sulla TC di *planning* e, poi, definire l'ITV.

- Definire il GTV su tutte le fasi della TC 4D, proiettare i contorni sulla TC di *planning* e definire l'ITV.
- Fare una ricostruzione MIP (*Maximum Intensity Projection*) della TC e definire l'ITV sulla convoluzione della lesione; proiettare poi i contorni sulla TC di *planning*.

A questo punto, si proiettano i contorni su una ricostruzione *Average* della TC di simulazione e, da qui, si definiscono gli OAR ed il PTV (ITV + tre/cinque millimetri).

-TECNICA EUPNOICA: si definiscono il GTV ed il PTV (GTV + margine): se la lesione è apicale si può creare il PTV aggiungendo un centimetro al GTV; mentre, se il *target* è nella porzione media o inferiore del polmone, al GTV si aggiunge un centimetro in direzione latero-laterale ed un centimetro e mezzo in cranio-caudale.

3) FASE DI PLANNING: in questa fase il fisico medico crea il piano di trattamento, rispettando la dose prescritta al *target*. Si distribuisce la dose coprendo il *target* e risparmiando gli OAR.

-TECNICA BH: si pianifica e si approva il piano sulla TC in BH.

-TECNICA 4D: si pianifica e si approva il piano sulla *Average* (per la valutazione e l'ottimizzazione della dose sul *target*) e sulla TC eupnoica di *planning* (per la valutazione della dose sugli OAR). Attraverso l'invio del tracciato respiratorio al TPS (*Treatment Planning System*), si sceglie la fase respiratoria più consona per il trattamento.

-TECNICA EUPNOICA: si pianifica e si approva il piano sulla scansione eupnoica.

4) FASE DI DELIVERY SU TBS2: il trattamento, nella SOD di Radioterapia di Ancona, viene erogato con il LINAC *TrueBeam* STx. I pazienti vengono riposizionati nello stesso modo in cui è stata fatta la TC di centraggio, con gli stessi sistemi di immobilizzazione. Questa posizione viene controllata attraverso i sistemi OBI (*On Board Imager*) ed EPID (*Electronic Portal Imaging Device*), ovvero dei sistemi di *imaging* in *bunker*.

-TECNICA BH: si acquisisce il tracciato respiratorio con il sistema RPM. A questo punto, per controllare che la posizione del paziente sia la stessa della TC di centraggio, si acquisisce una CBCT in *Breath Hold* sul lettino dell'acceleratore. Questa scansione viene confrontata con la TC di centraggio, così da fare un *match* sull'osso, per controllare la corrispondenza delle strutture ossee ed il *set-up*, e si verifica che il *target* sia all'interno del PTV (10). Una volta applicati gli spostamenti per correggere la posizione del paziente, si eroga il trattamento. Anch'esso deve essere eseguito in *Breath Hold*: la macchina va in *beam on* quando il paziente trattiene il respiro alla profondità raggiunta durante la TC di centraggio. Se il paziente riprende a respirare normalmente, l'acceleratore va in *beam off* e, quindi, il trattamento si interrompe. Il paziente, poi, esegue nuovamente l'apnea in maniera autonoma e, così, si riavvia il trattamento.

-TECNICA 4D: si acquisisce il tracciato respiratorio con il sistema RPM. Per controllare che la posizione del paziente sia corretta, si acquisisce una CBCT 4D direttamente sul lettino dell'acceleratore. Si ricostruisce la scansione o in modalità MIP o, se il *target* si trova vicino al diaframma, in modalità *Average*. Si confronta questa ricostruzione con la TC di centraggio per la correzione del *set-up* (controllando la corrispondenza delle strutture ossee) e si verifica che il GTV sia nel PTV. Una volta applicate le correzioni, si eroga il trattamento a respiro regolare.

-TECNICA EUPNOICA: una volta posizionato il paziente sul lettino, si acquisisce una CBCT 3D a respiro libero. Si fa il *match* tra questa scansione e la TC di centraggio per controllare che il GTV sia nel PTV e per correggere il *set-up* del paziente. In casi selezionati, si aggiunge una verifica della posizione della lesione attraverso immagini triggerate con il respiro del paziente.

2.5 METODO DI PREPARAZIONE DEI PAZIENTI - TRAINING

Il *training* permette al paziente di sentirsi coinvolto nella procedura radioterapica. In questa sede, si spiegano le problematiche legate al movimento respiratorio; vengono fatte eseguire delle simulazioni di respirazione da adottare durante la TC di centraggio e si verifica che il paziente sia compliante alla tecnica di monitoraggio scelta. Questo contesto è anche molto utile per far rilassare il paziente, poiché viene fatto familiarizzare con gli operatori, con l'ambiente e conosce già quale sarà il suo compito.

Il Gruppo 1 è stato accolto il giorno dell'esame direttamente nella sala del centraggio. È in questa sede che i pazienti vengono istruiti all'esame: assumere un respiro regolare per coloro che sono candidati alla 4D; eseguire un'apnea inspiratoria riproducibile per coloro che sono candidati al BH.

Il Gruppo 2, invece, è formato da pazienti istruiti prima di entrare nella sala della TC di centraggio. Vengono accolti nello studio del medico. Si ricorda al paziente la problematica dell'*Organ Motion* (già spiegata durante la prima visita), facendogli comprendere l'importanza delle tecniche di controllo del respiro. Il medico illustra il protocollo BH o 4D che il paziente dovrà seguire, facendo fare delle prove di apnea o respirazione regolare. Questo colloquio, che dura all'incirca dieci minuti, viene utilizzato anche con lo scopo di mettere il paziente a proprio agio, così da ottenere la sua collaborazione al fine della buona riuscita dell'esame.

Al termine del dialogo, il paziente viene accompagnato nella sala TC, viene invitato a scoprire il torace, a rimuovere eventuali oggetti metallici dalla zona di studio e ad accomodarsi sul lettino. A questo punto, essendo già istruito, si può procedere con l'esecuzione della scansione di centraggio.

2.6 METODO DI STUDIO DEI DUE GRUPPI

Per questa tesi sono stati valutati pazienti affetti da neoplasia polmonare che hanno effettuato la TC di centraggio ed il trattamento seguendo il protocollo *Breath Hold* o 4D, con (Gruppo 2) o senza (Gruppo 1) *training* respiratorio pre-TC di simulazione.

Attraverso il *database* ARIA, sono stati scaricati i tracciati respiratori dei pazienti, sia in fase di TC di centraggio, sia delle CBCT in *bunker*. Nel Gruppo 2, sono state valutate le CBCT in *bunker* solo dei pazienti che, al termine dello studio, avessero già iniziato il trattamento.

Per quanto riguarda i tracciati registrati durante l'acquisizione della TC 4D di simulazione, sono stati misurati due parametri differenti. In primo luogo, è stata misurata ***la distanza tra i picchi*** del tracciato respiratorio, così da valutare la regolarità degli atti respiratori eseguiti dal paziente. Più i picchi sono posizionati a distanze simili nel tracciato, maggiore è il grado di regolarità della respirazione.

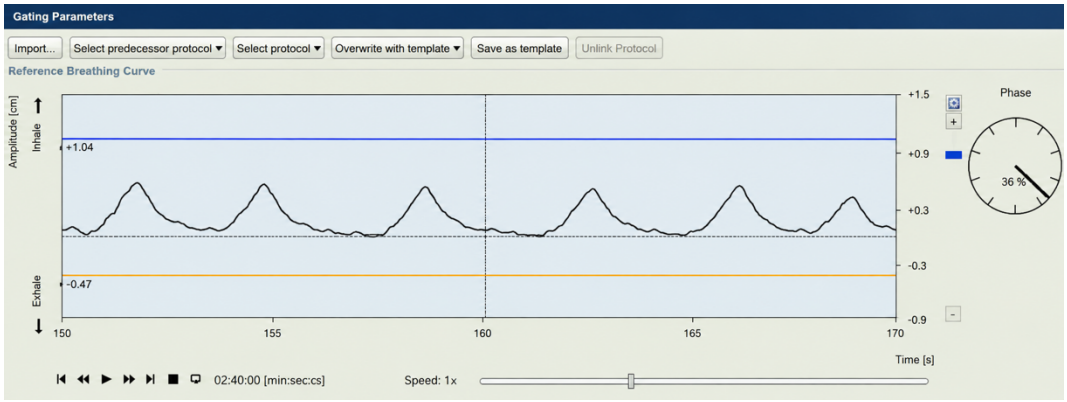


Figura 8. Tracciato respiratorio regolare

Una volta ottenute queste misure, è stata calcolata la media delle distanze in ogni tracciato, ne è stata calcolata la deviazione standard (indice di quanto i valori si discostano in media dal valore medio del gruppo) ed il coefficiente di variazione (indice di variabilità relativa, calcolato dividendo la deviazione standard per la media). Poi, per riuscire a confrontare i due gruppi, è stata

calcolata la media complessiva delle deviazioni standard di tutti i pazienti, e ne è stato calcolato il coefficiente di variazione.

Inoltre, è stata misurata ***l'ampiezza dei picchi inspiratori***, così da valutare quanto le inspirazioni avessero profondità simili. Anche in questo caso è stata calcolata la media, la deviazione standard ed il coefficiente di variazione.

Nel caso dei pazienti assegnati alla tecnica 4D, sono stati valutati anche i tracciati delle CBCT in *bunker*. Di questi tracciati è stata misurata la ***distanza tra i picchi***, come indice di respiro regolare. È stata calcolata la media, la deviazione standard ed il coefficiente di variazione.

Per i pazienti assegnati al *Breath Hold*, sono stati valutati i tracciati respiratori acquisiti durante le TC di centraggio. Di questi è stata valutata la regolarità dell'apnea respiratoria: è stata misurata la ***distanza tra la lower gating threshold ed il tracciato respiratorio***, sia nel momento iniziale che in quello finale. È stata poi calcolata la differenza tra queste due distanze, misurando, così, quanto è stato costante il paziente nel trattenere il respiro e quanto è cambiata la profondità dell'apnea.

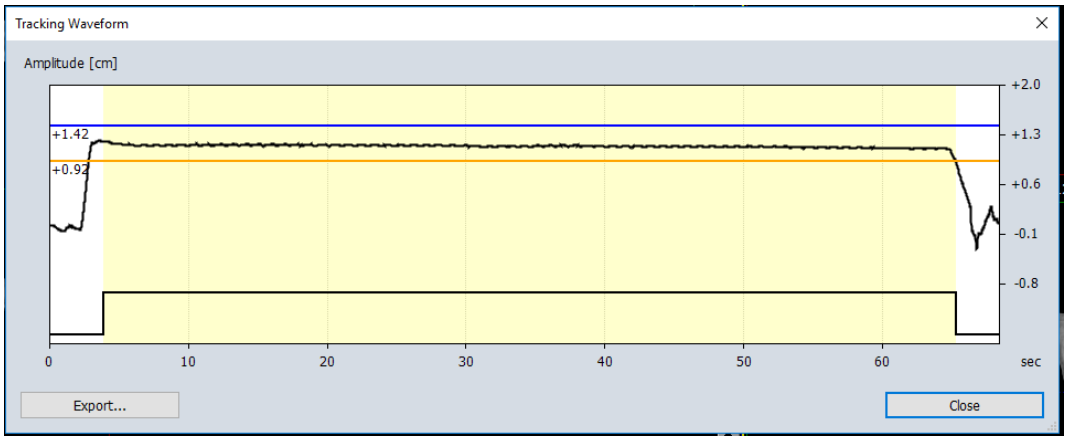


Figura 9. Tracciato respiratorio in apnea

È stata quindi calcolata la media dei valori per i due gruppi.

Al momento del trattamento, invece, è stata misurata la ***durata della CBCT BH in bunker***. Questa scansione ha un tempo minimo di acquisizione di 60 secondi, in cui il paziente deve mantenere l'apnea. In caso di interruzioni, l'acquisizione richiederà più tempo perché intervallata da momenti di respirazione del paziente.

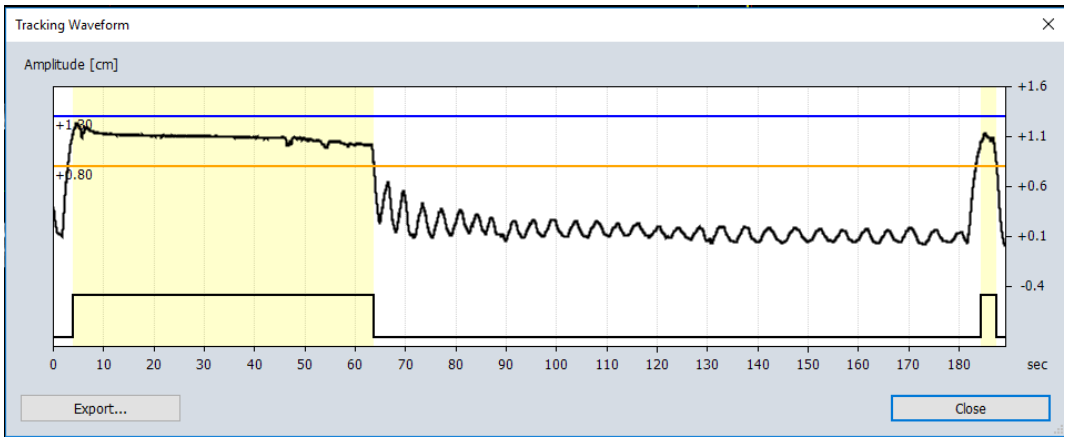


Figura 10. CBCT in BH interrotta da mancata apnea del paziente

Si valuta, quindi, quanto il paziente riesca ad eseguire un'apnea riproducibile. Viene calcolata la durata media di CBCT BH per ogni paziente, la deviazione standard ed il coefficiente di variazione.

A questo punto, si calcola la media delle deviazioni standard di ogni gruppo ed il coefficiente di variazione.

2.7 METODO STATISTICO

I risultati dei due gruppi sono stati confrontati attraverso il test t di *Student*, un test statistico che permette di rilevare se sono presenti differenze significative tra le medie di due gruppi di studio di piccole dimensioni. Viene utilizzato come *p-value* (valore soglia) 0,05. Se il test restituisce come risultato un valore minore di 0,05, allora ci sono differenze significative tra i

due gruppi; altrimenti, se il valore è maggiore di 0,05, i due gruppi non presentano differenze statisticamente significative.

3. RISULTATI

In questa sezione sono riportati i risultati dello studio.

Sono stati studiati 50 pazienti, 24 del Gruppo 1 (di cui 6 trattati con tecnica 4D e 11 trattati con tecnica BH) e 26 del Gruppo 2 (di cui 8 trattati con tecnica 4D e 14 trattati con tecnica BH).

Sono stati analizzati in totale 347 tracciati respiratori:

- 14 registrati durante l'acquisizione della TC 4D (6 del Gruppo 1, 8 del Gruppo 2)
- 72 registrati durante l'acquisizione della CBCT 4D (33 del Gruppo 1, 39 del Gruppo 2)
- 25 registrati durante l'acquisizione della TC BH (11 del Gruppo 1, 14 del Gruppo 2)
- 236 registrati durante l'acquisizione della CBCT BH (118 del Gruppo 1, 118 del Gruppo 2)

In primo luogo, viene riportata l'aderenza al protocollo proposto. Viene indicato quanti pazienti hanno eseguito la TC ed il trattamento con la stessa tecnica di controllo del respiro proposta in prima visita e quanti, invece, hanno subito una variazione.

Poi, vengono esposti i risultati delle misurazioni eseguite sui tracciati respiratori dei pazienti.

Per la tecnica 4D, per i tracciati della TC di simulazione sono riportate le misure delle distanze tra i picchi e le medie delle ampiezze di ogni picco. Sono riportati anche i confronti tra Gruppo 1 e Gruppo 2 eseguiti con il test di *Student*.

Nei tracciati CBCT 4D, sono state misurate le distanze tra i picchi. Anche qua, viene inserito il confronto tra Gruppo 1 e Gruppo 2 eseguito con il test di *Student*.

Per la tecnica BH, viene calcolata la regolarità dell'apnea respiratoria dei tracciati della TC di simulazione. Vengono riportate le differenze di

profondità delle apnee tra l'inizio e la fine della stessa. Viene calcolata la media dei valori per ogni gruppo e vengono confrontate con il test di *Student*.

Infine, vengono riportate le durate delle CBCT BH eseguite in *bunker* prima delle frazioni di trattamento. Viene fatta una media per ogni paziente e, poi, una media complessiva per ogni gruppo. Dopo aver calcolato deviazione standard e coefficiente di variazione, viene applicato il test di *Student* per confrontare Gruppo 1 e Gruppo 2.

3.1 ADERENZA AL PROTOCOLLO PROPOSTO

Al termine dello studio è stato valutato quanti pazienti abbiano eseguito o meno la tecnica di controllo del respiro proposta in prima visita.

In tabella si riporta l'aderenza del Gruppo 1 al protocollo proposto:

PAZIENTI GRUPPO 1	ETÁ	SEDE LESIONE	TECNICA PROPOSTA	TECNICA ESEGUITA
P.A.	78	LSD	Da decidere	Eupnoica
D.R.E.	73	LSD e LIS	BH	BH
F.M.	70	LSS	BH	BH
G.B.	85	LID	BH	BH
M.M.	71	LSD	BH	4D
A.G.	77	LSS e LID	BH	BH
V.A.	78	LID	BH	BH
C.I.	70	LSS	4D	4D
P.V.	64	LSS e LID	BH	Eupnoica
D.C.P.	62	LSS	4D	BH
I.G.	87	LSS e LID	4D	4D
T.G.	71	LSD	4D	4D
P.G.	39	Mediastino	BH	BH
C.G.	80	LSD	4D	4D
B.A.M.	83	LSS e LID	BH	BH
S.A.	88	LID	BH	4D
C.D.	75	LID	BH	BH
P.R.	59	LSD	4D	Eupnoica
P.C.	68	LID	BH	Eupnoica
C.M.	71	LID	BH	BH
N.U.	81	LSD	4D	4D
U.G.	80	LID	BH	BH
G.R.	74	LID	BH	BH
L.F.	74	Mediastino	BH	BH

Tabella 3. Tecniche di controllo del respiro proposte ed eseguite - pazienti del Gruppo 1

Il Gruppo 1 è formato da 24 soggetti.

Al 29,1% (7 pazienti) è stata proposta in prima visita la ***tecnica 4D***. Questa tecnica è stata confermata nel 71,4% dei pazienti (5 pazienti). Il restante

28,6% (2 pazienti) ha cambiato modalità di trattamento: 1 paziente ha eseguito il trattamento in BH, l'altro ha eseguito il trattamento a respiro libero.

Al 66,7% (16 pazienti) è stata proposta in prima visita la tecnica ***Breath Hold***.

Il protocollo BH è stato confermato nel 75% dei pazienti (12 pazienti). Del restante 25% (4 pazienti), 2 pazienti hanno eseguito il trattamento con la tecnica 4D, altri 2 in modalità eupnoica.

Al restante 4,17% dei pazienti senza *training* pre-TC di simulazione (1 paziente) non era stata proposta nessuna tecnica di controllo del respiro in sede di prima visita radioterapica ed ha eseguito il trattamento a respiro libero, in modalità eupnoica.

Il Gruppo 2, formato dai pazienti che hanno ricevuto il *training* respiratorio pre-TC di centraggio, è formato da 26 soggetti.

Di seguito si riporta l'aderenza al protocollo proposto:

PAZIENTI GRUPPO 2	ETÁ	SEDE LESIONE	TECNICA PROPOSTA	TECNICA ESEGUITA
P.L.	82	LSD	4D	4D
C.G.	89	LSS	4D	BH
P.E.	81	LSD	4D	4D
P.G.	74	LID	BH	No trattamento
N.G.	77	LSD	4D	4D
G.D.	88	Ilo dx	BH	Eupnoica
T.A.	85	LID e LIS	4D	Eupnoica
M.M.	87	LSD	4D	4D
F.G.	78	LSS	BH	BH
M.L.	79	LSD	4D	4D
C.M.T.	63	LSS	BH	BH
P.P.	73	LID	BH	BH
C.M.L.	75	LIS	BH	BH
T.F.	61	LSD	4D	Eupnoica
C.N.	76	LID	BH	BH
M.L.	63	LID	BH	BH
O.R.	62	LIS	Da decidere	BH
N.T.	78	LSS	BH	BH
G.G.	84	LSS e LSD	4D	4D
M.S.	46	LSS	BH	BH
P.Q.	82	LSS	BH	BH
C.G.	79	LIS	BH	BH
P.G.	84	Lobo medio	4D	BH
S.F.	86	Lobo medio	4D	4D
S.C.F.	74	LID	4D	4D
M.D.	45	LIS	BH	BH

Tabella 4. Tecniche di controllo del respiro proposte ed eseguite - pazienti del Gruppo 2.

Il Gruppo 2 è formato da 26 soggetti.

Al 46,2% (12 pazienti) è stata proposta in prima visita la ***tecnica 4D***. È stata confermata al 66,7% dei pazienti (8 pazienti), mentre del restante 33,3%

(4 pazienti): 2 pazienti hanno eseguito il trattamento in BH e altri 2 pazienti non hanno utilizzato nessuna tecnica di controllo del respiro.

Il ***protocollo Breath Hold*** è stato proposto in prima visita radioterapica al 50% dei pazienti del Gruppo 2 (13 pazienti). È stato confermato all'84,6% (11 pazienti). Del restante 15,4% (2 pazienti), 1 paziente ha eseguito il trattamento senza tecniche di controllo del respiro, l'altro non ha eseguito il trattamento a causa di una polmonite indotta da chemioterapici.

Al 3,8% del gruppo dei pazienti del Gruppo 2 (1 paziente) non è stata assegnata nessuna tecnica di controllo del respiro durante la prima visita radioterapica, perché da valutare in sede di TC di centraggio. A questa percentuale è stata assegnato il protocollo del BH.

Confrontando, attraverso il test di *Student*, l'aderenza al protocollo dei due gruppi, il risultato ottenuto è di 0,83. È un valore superiore al *p-value* (0,05) e, quindi, il test ha suggerito l'assenza di differenze significative tra i due gruppi.

3.2 VALUTAZIONE DEI TRACCIATI RESPIRATORI PER TECNICA 4D

Per i pazienti assegnati alla tecnica 4D, sono stati valutati i tracciati respiratori della TC di centraggio. Su un totale di 14 tracciati respiratori, sono state misurate le distanze tra i picchi inspiratori, indice di respiro regolare, e le ampiezze di ogni inspirazione, indice di profondità delle respirazioni.

- ***Misura della distanza dei picchi nei tracciati respiratori registrati durante l'acquisizione della TC 4D di centraggio***

La seguente tabella riporta la misura della distanza dei picchi nei tracciati dei pazienti del Gruppo 1, ovvero coloro che non hanno seguito un *training* respiratorio prima della TC:

PAZIENTI GRUPPO 1	**ETÁ**	**MEDIA DISTANZA PICCHI**	**DEVIAZIONE STANDARD**	**COEFFICIENTE DI VARIAZIONE**
M.M	71	2,4 cm	0,67	0,28
C.I.	70	4 cm	0,21	0,05
I.G.	87	2,1 cm	0,10	0,05
T.G.	71	2,23 cm	0,21	0,09
C.G.	80	2 cm	0,11	0,06
N.U.	81	2 cm	0,17	0,09

Tabella 5. Distanza media tra i picchi dei tracciati 4D della TC di simulazione dei pazienti del Gruppo 1

La media calcolata tra i coefficienti di variazione è di 0,10, con deviazione standard di 0,09.

La seguente tabella riporta, invece, la misura della distanza dei picchi nei tracciati 4D della TC di simulazione dei pazienti del Gruppo 2 (seguiti con *training*):

PAZIENTI GRUPPO 2	ETÁ	MEDIA DISTANZA PICCHI	DEVIAZIONE STANDARD	COEFFICIENTE DI VARIAZIONE
P.L.	82	2,52 cm	0,38	0,15
P.E.	81	2,48 cm	0,33	0,13
N.G.	77	4,9 cm	0,42	0,09
M.M.	87	1,87 cm	0,46	0,25
M.L.	79	2,8 cm	0,75	0,27
G.G.	84	3,73 cm	0,49	0,13
S.F.	86	2,73 cm	0,06	0,02
S.C.F.	74	2,4 cm	0,4	0,17

Tabella 6. Distanza media tra i picchi dei tracciati 4D della TC di simulazione dei pazienti del Gruppo 2

La media calcolata tra i coefficienti di variazione è di 0,15, con deviazione standard di 0,08.

Questi dati sono stati confrontati con il test di *Student*, il cui risultato è 0,32. Essendo maggiore di 0,05, rileva che tra i due gruppi non ci sono differenze significative di rendimento.

- ***Misura della variabilità dell'ampiezza dei picchi nei tracciati respiratori registrati durante l'acquisizione della TC 4D di centraggio***

A seguire, è stata misurata la variabilità dell'ampiezza dei picchi nei tracciati 4D della TC di centraggio di entrambi i gruppi.

Di seguito si riporta in tabella l'ampiezza media dei picchi nei tracciati 4D della TC di simulazione dei pazienti del Gruppo 1:

PAZIENTI GRUPPO 1	ETÁ	MEDIA AMPIEZZA PICCHI	DEVIAZIONE STANDARD	COEFFICIENTE DI VARIAZIONE
M.M.	71	1,14 cm	0,11	0,1
C.I.	70	1,48 cm	0,22	0,15
I.G.	87	1,02 cm	0,1	0,09
T.G.	71	1,34 cm	0,21	0,16
C.G.	80	1,34 cm	0,17	0,13
N.U.	81	1,18 cm	0,52	0,44

Tabella 7. Variabilità dell'ampiezza dei picchi dei tracciati 4D della TC di simulazione - Gruppo 1

La media calcolata tra i coefficienti di variazione è di 0,18, con una deviazione standard di 0,13.

Di seguito si riporta in tabella la variabilità dell'ampiezza dei picchi nei tracciati 4D della TC di simulazione dei pazienti seguiti con *training* respiratorio (Gruppo 2):

PAZIENTI GRUPPO 2	ETÁ	MEDIA AMPIEZZA PICCHI	DEVIAZIONE STANDARD	COEFFICIENTE DI VARIAZIONE
P.L.	82	0,94 cm	0,05	0,06
P.E.	81	1,24 cm	0,18	0,15
N.G.	77	1,23 cm	0,23	0,19
M.M.	87	1,34 cm	0,21	0,16
M.L.	79	1,04 cm	0,24	0,23
G.G.	84	1,2 cm	0	0
S.F.	86	0,5 cm	0	0
S.C.F.	74	0,68 cm	0,44	0,07

Tabella 8. Variabilità dell'ampiezza dei picchi dei tracciati 4D della TC di simulazione – Gruppo 2

La media calcolata tra i coefficienti di variazione è di 0,11, con una deviazione standard di 0,09.

Questi dati sono stati confrontati attraverso il test di *Student*. Il risultato è 0,27. Anche in questo caso, il test suggerisce che non ci sono differenze significative tra i due gruppi (0,27>0,05).

Nel Gruppo 2, sottoposto a *training* respiratorio pre-TC di simulazione, è stata però evidenziata una **maggiore tranquillità del soggetto** ad affrontare il centraggio radioterapico e la gestione del respiro.

Non è possibile esprimere questo dato in termini statistici (ma rimane un dato soggettivo) per la non disponibilità di questionari di valutazione della qualità percepita dal paziente al momento dello studio.

Inoltre, nel Gruppo 2, il tempo di occupazione della sala TC è stato inferiore (mediamente di 10 minuti).

- ***Misura della distanza dei picchi nei tracciati respiratori registrati durante l'acquisizione della CBCT 4D di verifica in bunker***

Sono stati valutati 72 tracciati respiratori registrati durante l'acquisizione delle CBCT 4D prima di ogni frazione di trattamento. In questo caso, è stata misurata la media tra le distanze di ogni picco, la deviazione standard ed il coefficiente di variazione. I calcoli sono stati eseguiti per entrambi i gruppi dei pazienti e sono stati confrontati con il test di *Student*.

Nella tabella seguente si riporta lo studio della variazione della distanza tra i picchi dei tracciati dei pazienti del Gruppo 1:

PAZIENTI GRUPPO 1	ETÁ	MEDIA DISTANZA PICCHI	DEVIAZIONE STANDARD	COEFFICIENTE DI VARIAZIONE	NUMERO DI TRACCIATI ANALIZZATI
M.M.	71	0,29 cm	0,03	0,1	6
C.I.	70	0,3 cm	0,02	0,06	4
I.G.	87	0,42 cm	0,07	0,16	7
T.G.	71	0,26 cm	0,04	0,17	4
C.G.	80	0,28 cm	0,04	0,15	5
N.U.	81	0,31 cm	0,07	0,24	7

Tabella 9. Distanza media tra i picchi dei tracciati 4D delle CBCT di controllo dei pazienti del Gruppo 1

La media tra i coefficienti di variazione dei tracciati è di 0,15, la deviazione standard è di 0,06.

Nella tabella seguente si riporta lo studio della variazione della distanza tra i picchi dei tracciati dei pazienti del Gruppo 2:

PAZIENTI GRUPPO 2	ETÁ	MEDIA DISTANZA PICCHI	DEVIAZIONE STANDARD	COEFFICIENTE DI VARIAZIONE	NUMERO DI TRACCIATI ANALIZZATI
P.L.	82	0,28 cm	0,02	0,06	5
P.E.	81	0,33 cm	0,05	0,14	5
N.G.	77	0,49 cm	0,05	0,11	8
M.M.	87	0,23 cm	0,03	0,14	5
M.L.	79	0,44 cm	0,08	0,17	8
G.G.	84	0,4 cm	0,05	0,12	8

Tabella 10. Distanza media tra i picchi dei tracciati 4D delle CBCT di controllo dei pazienti del Gruppo 2

Nel caso dei pazienti del Gruppo 2, sono stati registrati i dati delle CBCT di controllo solo di quei pazienti che, al termine del nostro studio, hanno iniziato il trattamento radioterapico.

La media tra i coefficienti di variazione è di 0,13, la deviazione standard è di 0,04.

Sono stati confrontati i risultati dei due gruppi con il test di *Student*, il cui valore è stato pari a 0,42. Quindi, nemmeno in questo caso ci sono differenze significative tra i due gruppi (0,42>0,05).

3.3 VALUTAZIONE DEI TRACCIATI RESPIRATORI PER TECNICA BREATH HOLD

- ***Misura della differenza di profondità dell'apnea***

In questi 25 tracciati acquisiti durante la TC di centraggio BH, abbiamo calcolato la differenza di profondità dell'apnea tra il momento iniziale e quello finale della stessa.

Di seguito vengono tabulati i dati per il Gruppo 1:

PAZIENTI GRUPPO 1	**ETÁ**	**DIFFERENZA DI PROFONDITÁ**
D.R.E.	73	3 mm
F.M.	70	2 mm
G.B.	85	0,9 mm
A.G.	77	2 mm
V.A.	78	2,2 mm
D.C.P.	62	1,5 mm
P.G.	39	1,6 mm
C.D.	75	2 mm
C.M.	71	1,8 mm
U.G.	80	1,5 mm
G.R.	74	2,3 mm

Tabella 11. Differenze di profondità all'inizio e alla fine dell'apnea nei pazienti del Gruppo 1

La media dei risultati è 1,89 millimetri.

Di seguito vengono tabulati i dati per il Gruppo 2:

PAZIENTI GRUPPO 2	ETÁ	DIFFERENZA DI PROFONDITÁ
C.G.	89	1,5 mm
F.G.	78	1,6 mm
C.M.T.	63	0,5 mm
P.P.	73	1,6 mm
C.M.L.	75	2,3 mm
C.N.	76	0,4 mm
M.L.	63	1,9 mm
O.R.	62	2,2 mm
N.T.	78	2,2 mm
M.S.	46	1,6 mm
C.G.	79	1 mm
P.Q.	82	1,9 mm
P.G.	84	2 mm
M.D.	45	0 mm

Tabella 12. Differenze di profondità all'inizio e alla fine dell'apnea nei pazienti del Gruppo 2

La media dei risultati è 1,48 millimetri.

Applicando, anche in questo caso, il test di *Student*, abbiamo ottenuto un risultato di 0,12. Questo valore indica che tra i due gruppi non ci sono differenze significative (0,12>0,05).

3.4 MISURAZIONE DELLA DURATA DELLE CBCT-BH

Nel caso della tecnica del *Breath Hold*, l'efficacia del *training* è stata valutata misurando il tempo necessario per l'acquisizione della CBCT.

Considerando 60 secondi la durata base di una CBCT BH, è stata misurata la durata delle CBCT BH di controllo dei pazienti del Gruppo 1 e del Gruppo 2, per valutare la bontà delle apnee respiratorie.

Sono stati presi i tempi di 236 CBCT BH, 118 dei pazienti del Gruppo 1 ed altrettante dei pazienti del Gruppo 2. Sono state prese in considerazione tutte le CBCT BH presenti nel *database* ARIA per ogni paziente, che corrispondono a tutte le sedute svolte dai pazienti fino al termine dello studio.

Infatti, per i pazienti del Gruppo 2, ovvero quelli seguiti con *training* respiratorio pre-TC di simulazione, sono stati considerati solo coloro che, alla fine dello studio, avessero iniziato il trattamento.

Di seguito riportata la durata delle CBCT BH dei pazienti del Gruppo 1:

PAZIENTI GRUPPO 1	**ETÁ**	**DURATA MEDIA CBCT BH (secondi)**	**DEVIAZIONE STANDARD**	**COEFFICIENTE DI VARIAZIONE**	**CBCT BH ANALIZZATE**
D.R.E.	73	77	7,53	0,1	12
F.M.	70	96	10,5	0,11	8
G.B.	85	86	12,17	0,14	8
A.G.	77	105	51,79	0,49	11
V.A.	78	94	11,75	0,13	13
D.C.P.	62	85	10	0,12	5
P.G.	39	70	10,62	0,15	24
C.D.	75	88	8,3	0,09	13
C.M.	71	94	13,56	0,14	8
U.G.	80	123	40,35	0,33	8
G.R.	74	93	21,87	0,23	8

Tabella 13. Durata media delle CBCT BH di controllo – Gruppo 1

Abbiamo calcolato la media dei coefficienti di variazioni, ed è risultata 0,18, con deviazione standard di 0,12.

Di seguito riportata la durata della CBCT BH dei pazienti del Gruppo 2:

PAZIENTI GRUPPO 2	ETÁ	DURATA MEDIA CBCT BH (secondi)	DEVIAZIONE STANDARD	COEFFICIENTE DI VARIAZIONE	CBCT BH ANALIZZATE
C.G.	89	195	82,3	0,42	5
F.G.	78	86	15,97	0,18	30
C.M.T.	63	79	8,94	0,11	5
P.P.	73	82	2,74	0,03	5
C.M.L.	75	60	0	0	5
C.N.	76	90	18,45	0,21	27
M.L.	63	79	28,77	0,37	28
O.R.	62	63	7,07	0,11	8
N.T.	78	83	4,47	0,05	5

Tabella 14. Durata media delle CBCT BH di controllo – Gruppo 2

È stata fatta la media dei coefficienti di variazione, ed è 0,17, con deviazione standard di 0,15.

Applicando il test di *Student*, il risultato è di 0,76. Questo valore indica che non ci sono differenze significative tra i due gruppi (0,76>0,05).

Inoltre, il tempo di *training* calcolato va dagli 8 ai 15 minuti, con una media di 11 minuti a paziente. Essendo il *training* svolto nello studio del medico, questo tempo è utilizzabile dagli operatori sanitari che lavorano in TC di simulazione per eseguire il centraggio di altri pazienti.

4. DISCUSSIONE

In questa tesi sono stati oggetto di studio 347 tracciati respiratori di 42 pazienti, 27 trattati con tecnica 4D e 15 trattati con tecnica BH, classificati in due gruppi: il Gruppo 1, composto da coloro che non sono stati istruiti con *training* respiratorio pre-TC di simulazione; il Gruppo 2, composto da coloro che hanno ricevuto un *training* respiratorio pre-TC di simulazione.

Considerando ***l'aderenza al protocollo,***

1) per i pazienti del Gruppo 1:
   - al 29,1% è stata proposta la tecnica 4D; di questi, il 71,4% ha portato a termine il protocollo scelto;
   - al 66,7% è stato proposto il protocollo BH; il 75% è rimasto aderente al protocollo.
2) per i pazienti del Gruppo 2:
   - il 46,2% è stato selezionato per tecnica 4D, confermata nel 66,7% di questi;
   - al 50% è stato proposto il BH e, di questa percentuale, si è avuta l'aderenza dell'84,6%.

Il test di *Student* evidenzia che non ci sono differenze statisticamente rilevanti tra i due gruppi.

Si nota una maggiore tolleranza, anche se non significativa, al protocollo *Breath Hold*.

Considerando lo studio sulla ***regolarità del tracciato nei pazienti trattati con tecnica 4D:***

- confrontando i valori ottenuti dal Gruppo 1 e dal Gruppo 2 nel caso dei tracciati 4D della TC di simulazione, si evidenzia che sia per la misura della distanza tra i picchi, sia per la misura della variabilità dell'ampiezza dei picchi, non sono emerse differenze significative;

- lo stesso risultato è stato ottenuto confrontando i tracciati delle CBCT 4D, nei quali è stata calcolata la distanza tra i picchi.

Tra il Gruppo 1 ed il Gruppo 2, quindi, non ci sono differenze significative. Questo risultato dimostra che, statisticamente, non c'è un gruppo che ha mantenuto una respirazione più regolare dell'altro durante le scansioni, ma entrambi hanno prodotto risultati sovrapponibili.

Considerando i ***pazienti trattati con tecnica BH***:

- dall'analisi dei tracciati acquisiti durante la TC di simulazione, il Gruppo 1 ed il Gruppo 2, non presentano differenze significative;
- lo stesso risultato si ottiene confrontando le durate delle CBCT in *Breath Hold*: i pazienti arruolati alla tecnica *Breath Hold* presentano riproducibilità dell'apnea respiratoria.

Da tutti i calcoli effettuati durante lo studio, si può affermare che il diverso momento di esecuzione del *training* respiratorio non ha inciso sulla gestione del respiro.

In effetti,

- i pazienti appartenenti al Gruppo 1 hanno ricevuto comunque un *training*, ma direttamente sul lettino della TC di centraggio (con maggiore tempo di occupazione della sala TC);
- a nessun paziente, indipendentemente dal gruppo di appartenenza, è stata assegnata una tecnica di trattamento per la quale non fosse compliante. Tutti i trattamenti sono stati sempre pianificati sulla base della collaborazione e dello stato del paziente.

Il vantaggio che, invece, è emerso dall'adozione del *training* respiratorio pre-TC di simulazione è sicuramente una ***maggiore tranquillità del soggetto.*** Egli, infatti, viene reso parte attiva del trattamento attraverso: il coinvolgimento nella spiegazione delle problematiche legate al movimento

respiratorio; la conoscenza e la comprensione dell'importanza delle istruzioni respiratorie che gli vengono fornite per eseguire la TC di centraggio. Ad ogni paziente viene dedicato il tempo necessario per ottenere comprensione e tranquillità da parte sua.

Questo è fondamentale in un reparto di radioterapia: avere un paziente meno ansioso consente di ottenere una migliore qualità percepita, potendo arrivare alla TC di centraggio più preparato e senza dubbi sull'esecuzione dell'esame.

Purtroppo, questo dato rimane non obiettivabile o misurabile per la non disponibilità di questionari di valutazione della qualità percepita al momento dello studio.

Altro vantaggio del protocollo di *training* pre-TC è la possibilità di ***abbreviare i tempi di stazionamento del paziente nella sala TC***, in quanto il colloquio viene effettuato in un ambiente separato.

5. CONCLUSIONI

Con questa tesi, abbiamo valutato i possibili vantaggi dell'anticipazione del *training* respiratorio in un ambulatorio medico, in un tempo antecedente alla TC di centraggio.

In totale sono stati studiati 50 pazienti, 24 del Gruppo1 e 26 del Gruppo 2.

Sono stati analizzati 347 tracciati respiratori, 14 registrati durante l'acquisizione della TC 4D, 72 registrati durante l'acquisizione della CBCT 4D, 25 registrati durante l'acquisizione della TC BH e 236 registrati durante l'acquisizione della CBCT BH.

É stata studiata l'aderenza al protocollo di gestione del respiro indicato dal medico, la qualità del tracciato respiratorio, il tempo di occupazione della sala TC, le tempistiche di acquisizione della CBCT e la gestione dello stato di ansia del paziente.

Da tutte le valutazioni effettuate durante lo studio, è emerso che il diverso momento di esecuzione del *training* respiratorio non ha inciso sulla gestione del respiro e sulla sicurezza del trattamento.

Con l'anticipazione del *training* respiratorio in un tempo pre-TC di simulazione il paziente si è però mostrato più sereno e già istruito all'esame in sala TC.

Sulla base di questa osservazione, consapevoli di incidere anche sui tempi di occupazione della sala TC, il *training* viene ormai effettuato in un ambulatorio medico prima dell'inizio della procedura di centraggio, con l'obiettivo di poter personalizzare in tranquillità il tempo di informazione e di allenamento del paziente.

Oltre all'importante protocollo di *training*, è stata predisposta una scheda informativa di istruzioni al trattamento da consegnare al paziente al momento della prima visita, dove si spiegano i punti fondamentali della tecnica

utilizzabile per il suo trattamento sul polmone ed i suggerimenti per un suo maggiore coinvolgimento. Di seguito ne riportiamo i contenuti.

GESTIONE DEL RESPIRO DURANTE LA TC DI CENTRAGGIO E IL TRATTAMENTO RADIOTERAPICO

Informazioni per il paziente

Perché è importante la gestione del respiro?

Durante la respirazione, gli organi del torace e dell'addome superiore si muovono naturalmente. Anche alcune lesioni tumorali possono spostarsi durante gli atti respiratori.

Per alcuni trattamenti radioterapici è quindi necessario utilizzare ***tecniche di gestione del respiro*** *che consentono di:*

- ***controllare ed eventualmente ridurre il movimento del bersaglio da trattare;***
- ***aumentare la precisione e la sicurezza del trattamento;***
- ***ridurre l'irradiazione degli organi sani vicini.***

Queste tecniche sono utilizzate principalmente per patologie localizzate nella ***regione toracica*** *e* ***nell'addome superiore.***

Come si svolge la TC di centraggio?

La TC di centraggio è l'esame utilizzato per pianificare il trattamento radioterapico. L'esame prevede generalmente due acquisizioni.

1. TC a respiro libero

Viene effettuata una prima acquisizione mentre il paziente respira normalmente.



Figura 11. Posizionamento del marker RPM

2. TC con monitoraggio respiratorio

Successivamente, viene posizionato sul torace un piccolo dispositivo riflettente collegato al sistema di monitoraggio respiratorio ***RPM™ (Real-time Position Management) Varian****.*

Una telecamera a infrarossi registra il movimento del torace e consente di monitorare il ciclo respiratorio durante l'acquisizione delle immagini.

Modalità di acquisizione

In base alle caratteristiche della malattia e alle indicazioni del medico radioterapista, può essere utilizzata una delle seguenti tecniche:

- Inspirazione profonda mantenuta (Deep Inspiration Breath Hold – DIBH)

Al paziente viene richiesto di:

1. ***effettuare una profonda inspirazione;***
2. ***mantenere il respiro per circa 20–30 secondi;***
3. ***riprendere normalmente la respirazione al termine dell'acquisizione.***



Figura 12. Rappresentazione del trattamento radioterapico

Questa tecnica permette di ridurre il movimento degli organi e, in alcune situazioni cliniche, di aumentare la distanza tra il bersaglio e gli organi sani circostanti.

TC 4D (Four-Dimensional Computed Tomography)

Durante l'esame il paziente ***respira normalmente seguendo un ritmo regolare di inspirazione ed espirazione****.*

Il sistema RPM registra continuamente il ciclo respiratorio e associa le immagini TC alle diverse fasi della respirazione, consentendo di valutare il movimento del bersaglio nel tempo.

Questa metodica permette di identificare accuratamente l'escursione respiratoria della lesione e di pianificare il trattamento in modo più preciso.

Come si svolge il trattamento?

La tecnica respiratoria utilizzata durante la TC di centraggio verrà generalmente riprodotta anche durante le sedute di radioterapia.

Durante il trattamento, il paziente sarà dotato di un ***monitor*** *che mostrerà l'ampiezza del respiro e lo aiuterà ad eseguire correttamente la procedura, con l'aiuto del personale tecnico e medico che guiderà il paziente attraverso comandi vocali dall'esterno della stanza di trattamento.*

Prima dell'inizio della radioterapia verranno effettuate tutte le prove necessarie per garantire che la tecnica sia confortevole e facilmente ripetibile.

La procedura è sicura?

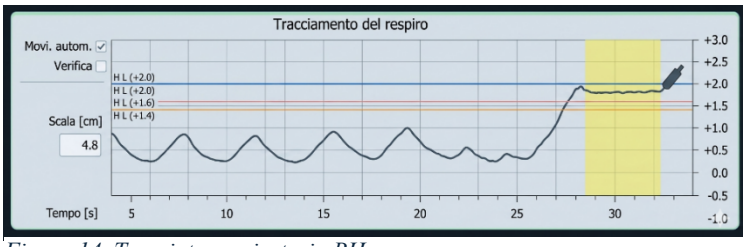


Figura 14. Tracciato respiratorio BH

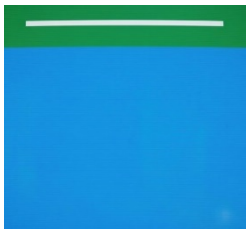


Figura 13. Threshold line

La gestione del respiro è una procedura:

✓non invasiva

✓indolore

✓sicura

✓ben tollerata dalla maggior parte dei pazienti

In caso di difficoltà nell'eseguire gli esercizi respiratori, è importante informare il personale sanitario che valuterà la soluzione più appropriata.

La sua collaborazione è fondamentale

La corretta esecuzione della tecnica respiratoria contribuisce in modo significativo alla precisione del trattamento e alla protezione degli organi sani.
Grazie per la collaborazione.

Anche in questo ambito e con questa tecnica, il personale medico e non medico del reparto di Radioterapia accompagnano il paziente integrando innovazione tecnologica, competenze cliniche e attenzione alla persona.

L'efficacia del trattamento e l'umanizzazione della cura sono due aspetti inseparabili.

6. BIBLIOGRAFIA

1. Keall PJ, Mageras GS, Balter JM, et al: "The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM Task Group 76". Med Phys. 2006; 33(10):3874-3900.

2. Aboudaram A, Khalifa J, Massabeau C, et al: "Radiothérapie guidée par l'image dans le cancer du poumon". Cancer Radiother. 2018; 22(6-7):602-607.

3. Regione Marche. (2024, 16 ottobre). **"***Inaugurato il nuovo acceleratore lineare della SOD di Radioterapia Oncologica dell'AOU delle Marche".*

4. Fondazione AIRC per la Ricerca sul Cancro: "Numeri del cancro 2025: sopravvivenza in aumento e progressi nella prevenzione". 19 dicembre 2025. Disponibile su: https://www.airc.it/news/numeri-del-cancro-2025.

5. Huguet F, Haberer-Guillerm S, Monnier L: "Radioterapia". EMC - Tratado de Medicina. 2014; 18(3):1-6.

6. Saladin KS: Anatomia umana. 2a ed. italiana (a cura di De Caro R). Padova, 2017, Piccin Nuova Libraria; pp. 631-646.

7. Shirato H, Seppenwoolde Y, Kitamura K, Onimura R, Shimizu S: "Intrafractional tumor motion: lung and liver". Semin Radiat Oncol. 2004; 14(1):10-18.

8. Langen KM, Jones DT: "Organ motion and its management". Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2001; 50(1):265-278.

9. Shirato H, Onimaru R, Ishikawa M, et al: "Real-time 4-D radiotherapy for lung cancer". Cancer Sci. 2012; 103(1):1-6.

10. Aznar MC, Carrasco de Fez P, Corradini S, et al: "ESTRO-ACROP guideline: recommendations on implementation of breath-hold techniques in radiotherapy". Radiother Oncol. 2023; 185:109734.

11. Giraud P, Yorke E, Jiang S, et al: "Reduction of organ motion effects in IMRT and conformal 3D radiation delivery by using gating and tracking techniques". Cancer Radiother. 2006; 10(5):269-282.

12. Mageras GS, Yorke E: "Deep inspiration breath hold and respiratory gating strategies for reducing organ motion in radiation treatment". Semin Radiat Oncol. 2004; 14(1):65-75.

13. Hoogeman M, Prévost JB, Nuyttens J, et al: "Clinical accuracy of the respiratory tumor tracking system of the CyberKnife: assessment by analysis of log files". Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2009; 74(1):297-303.

14. Kini VR, Vedam SS, Keall PJ, et al: "Patient training in respiratory-gated radiotherapy". Med Dosim. 2003; 28(1):7-11.

15. Becker K, Kisling K, Padilla L: "Clinical factors affecting breath-hold performance for left-sided breast cancer patients". J Appl Clin Med Phys. 2025; 26: e70364.

16. Jiang S, Shi H, Ye X, et al: "A three day coaching protocol for deep inspiration breath hold in left breast radiotherapy using active breathing control". Sci Rep. 2025; 15:43661.

17. Davis AT: "Improving the quality of Computed Tomography images used for radiotherapy treatment planning". Londra, 2023, University College London, pp 91-94.

18. Varian Medical Systems: "Real-time Position Management™ System. Comprehensive system for total motion management". Palo Alto (CA), Varian Medical Systems. https://pdf.medicalexpo.com/viewerCatalog/varian-oncology/real-time-position-management-system/70440-134617.html.

19. Varian Medical Systems: TrueBeam™ STx System Specifications (RAD 10093I). Palo Alto (CA), 2015, Varian Medical Systems.

20. Bergman AM, Gete E, Duzenli C, Teke T: "Monte Carlo modeling of HD120 multileaf collimator on Varian TrueBeam linear accelerator for verification of 6X and 6X FFF VMAT SABR treatment plans". J Appl Clin Med Phys. 2014; 15(3):148-163.