



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

ΠΜΣ «Σύγχρονες Εφαρμογές στην Ιατρική Απεικόνιση»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος:

**“Η εφαρμογή της τεχνικής Deep Inspiration/Expiration Breath Hold –
(DIBH/DEBH) στην Ακτινοθεραπεία
με χρήση SGRT”**

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ: ΠΕΡΙΚΛΗΣ ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ: ANNA MAPIA ΚΟΡΟΞΕΝΟΥ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: 21012

Αθήνα, 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

FACULTY OF HEALTH AND CARE SCIENCES

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES

DIVISION RADIOLOGY AND RADIOTHERAPY

MSc «Current Applications in Medical Imaging»

DISSERTATION

**“The application of Deep Inspiration/Expiration Breath Hold –
(DIBH/DEBH) in Radiotherapy with the use of SGRT”**

SUPERVISOR: PERIKLIS PAPAVALASILEIOU

STUDENT: ANNA MARIA KOROXENOU

REGISTRATION NUMBER: 21012

Athens, 2023

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΙΣΗΓΗΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

ΠΕΡΙΚΛΗΣ ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ

Επίκουρος Καθηγητής

ΜΥΡΣΙΝΗ ΜΠΑΛΑΦΟΥΤΑ

Επίκουρη Καθηγήτρια

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΜΠΑΚΑΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Άννα Μαρία Κοροξενού του Δημητρίου, με αριθμό μητρώου 21012 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Σύγχρονες Εφαρμογές στην Ιατρική Απεικόνιση της Σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών του Τομέα Ακτινολογίας και Ακτινοθεραπείας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

«Είμαι συγγραφέας της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας με τίτλο “Η εφαρμογή της τεχνικής Deep Inspiration/Expiration Breath Hold – (DIBH/DEBH) στην Ακτινοθεραπεία με χρήση SGRT” και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα
Άννα Μαρία Κοροξενού



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία ολοκληρώνονται η σπουδές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών <<Σύγχρονες Εφαρμογές στην Ιατρική Απεικόνιση>> του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών της Σχολής Επαγγελματιών Υγείας και Πρόνοιας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Κατά την διάρκεια της υλοποίησης της διπλωματικής μου εργασίας, ήταν καθοριστική η συμβολή των καθηγητών μου στα γνωστικά αντικείμενα που παρακολούθησα.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κύριο Περικλή Παπαβασιλείου Τεχνολόγο Ακτινολογίας Ακτινοθεραπείας και Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής για την άμεση καθοδήγηση που μου πρόσφερε σε όλα τα στάδια της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλη την ομάδα του Ακτινοθεραπευτικού Τμήματος Mediterraneo Hospital, για την βοήθεια που μου παρείχαν και ειδικότερα των Προϊστάμενο Τεχνολόγων Ακτινολόγων του Τμήματος Ακτινοθεραπείας, κύριο Χριστόφορο Δραγώνα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Ακτινοφυσικό κύριο Ιωάννη Ιωαννίδη, για την αμέριστη βοήθεια και στήριξη του καθόλη την διάρκεια της συγγραφής αυτής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή των τεχνικών Deep Inspiration/Expiration Breath Hold – DIBH/DEBH) και Επιφανειακής Καθοδηγούμενης Ακτινοθεραπείας (Surface Guided Radiation Therapy - SGRT). Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στις τεχνικές DIBH (εκούσια τεχνική DIBH – vDIBH, που χρησιμοποιείται στους γραμμικούς επιταχυντές της Varian, όπως και στο νοσοκομείο Mediterraneo και ακούσια τεχνική DIBH – iDIBH που χρησιμοποιείται στους γραμμικούς επιταχυντές της Elekta), καθώς και για τις τεχνικές DIBH που χρησιμοποιούνται στην ακτινοθεραπεία για Ca μαστού (αριστερού, δεξιού), Ca πνεύμονα, Ca ήπατος και παγκρέατος (SBRT τεχνική). Τέλος, γίνεται αναφορά για το πως χρησιμοποιείται το SGRT συνδυαστικά με το DIBH. Η τεχνική SGRT βελτιώνει την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα της θέσης θεραπείας προκειμένου να βελτιστοποιηθεί το θεραπευτικό αποτέλεσμα.

Λέξεις κλειδιά: DIBH, DEBH, SGRT, SBRT, Καρκίνος μαστού, Καρκίνος πνεύμονα, Καρκίνος ήπατος, Καρκίνος παγκρέατος, Επαναληψιμότητα θέσης θεραπείας

ABSTRACT

The aim of this thesis is to describe the modern techniques of Radiation Therapy and specifically Deep Inspiration/Expiration Breath Hold – DIBH/DEBH) and Surface Guided Radiation Therapy - SGRT. The reference of these methods includes DIBH techniques such as voluntary DIBH technique (vDIBH) which is used in Varian linear accelerators, as in Mediterraneo hospital and involuntary DIBH technique (iDIBH) that is used in Elekta linear accelerators. DIBH techniques for Ca Breast (left,right), Ca lung, Ca liver and pancreas, with the use of Stereotactic Body Radiation Therapy, will be discussed in this present study. In the last part of this study, there is a reference of how SGRT is used in combination with DIBH. The SGRT technique improves the accuracy and repeatability of the treatment site to optimize the treatment outcome.

Key words: DIBH, DEBH, SGRT, SBRT, Ca Breast, Ca Lung, Ca Liver, Ca Pancreas,
Repeatability of the treatment site

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	11
1. ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗΣ	11
1.1. Βασικές Αρχές Γραμμικού Επιταχυντή	11
1.2. Ισόκεντρο Γραμμικού Επιταχυντή	13
2. ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ	14
2.1. Βασικές Αρχές Ακτινοθεραπείας	14
2.2. Τεχνικές Εξωτερικής Ακτινοθεραπείας	18
2.2.1. Συμβατική Δισδιάστατη Ακτινοθεραπεία (2D – Conventional Radiotherapy ή 2D – CRT) ...	18
2.2.2. Σύμμορφη Τρισδιάστατη Ακτινοθεραπεία (3D – Conformal Radiotherapy ή 3D – CRT) ...	18
2.2.3. Ακτινοθεραπεία Διαμορφούμενης Έντασης (Intensity Modulated Radiotherapy - IMRT) ...	18
2.2.4. Ογκομετρικά Διαμορφούμενη Τοξοειδής Ακτινοθεραπεία (Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT)	19
2.2.5. Απεικονιστικά Καθοδηγούμενη Ακτινοθεραπεία (Image – Guided Radiation Therapy) ...	20
2.2.6. Στερεοτακτική Ακτινοθεραπεία	21
2.2.7. Στερεοτακτική Ακτινοθεραπεία Σώματος (Stereotactic Body Radiation Therapy - SBRT) .	22
2.2.8. Θεραπεία με φορτισμένα σωματίδια (Πρωτόνια)	22
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΝΟΥ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ	23
3.1. Gross Tumor Volume (GTV):	23
3.2. Clinical Tumor Volume (CTV)	23
3.3. Internal Target Volume (ITV)	23
3.4. Planning Tumor Volume (PTV)	24
3.5. Organs at Risk (OARs)	24
3.6. Dose Volume Histogram (DVH)	25
4. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ	26
4.1. KV σύστημα απεικόνισης (KV Imager)	26
4.2. MV σύστημα απεικόνισης (MV Imager)	27
4.3. Υπολογιστική Τομογραφία Κωνικής δέσμης στην Ακτινοθεραπεία	27
(Cone Beam Computed Tomography – CBCT)	27
5. ΑΞΟΝΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ-ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	29
5.1. Αξονική Τομογραφία Εξομοίωσης (CT Simulation)	29
5.2. Αξονική Τομογραφία Εξομοίωσης με χρήση DIBH	31
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	33
6. ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΣΕ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΦΑΣΗ ΒΑΘΙΑΣ ΕΙΣΠΝΟΗΣ - DEEP INSPIRATION BREATH HOLD - (DIBH)	33
6.1. Τεχνικές και Συστήματα Συγκράτησης της Εισπνοής	35
6.2. Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) στην ακτινοθεραπεία μαστού	37

6.2.1. Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) στην ακτινοθεραπεία Αριστερού Μαστού	38
6.2.2. Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) σε ακτινοθεραπεία Δεξιού Μαστού	39
6.3. <i>Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) ακτινοθεραπεία με χρήση τεχνικής SBRT (Stereotactic Body Radiotherapy)</i>	39
6.3.1. Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) ακτινοθεραπεία πνεύμονα με χρήση τεχνικής SBRT	40
6.3.2. Deep Inspiration/Expiration Breath Hold (DIBH/DEBH) ακτινοθεραπεία ήπατος με χρήση τεχνικής SBRT	42
6.3.3. Deep Expiration Breath Hold (DEBH) ακτινοθεραπεία παγκρέατος με χρήση τεχνικής SBRT	43
7. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ - SURFACE GUIDED RADIATION THERAPY (SGRT)	44
7.1. Σχεδιασμός περιοχής ενδιαφέροντος (<i>Region of Interest – ROI</i>).....	47
7.1.1. Μαστός/DIBH.....	48
7.1.2. IMRT/SBRT	50
7.1.3. Πύελος	51
7.1.4. SRS Brain	52
7.2. Τοποθέτηση ασθενούς με χρήση της τεχνικής SGRT.....	53
7.2.1. Τοποθέτηση ασθενούς με Ca μαστού.....	53
7.2.2. Τοποθέτηση ασθενούς με Ca πυέλου/κοιλιάς/Κεφαλής & Τραχήλου	53
7.2.3. Τοποθέτηση ασθενούς με Ενδοκρανιακούς όγκους (Whole Brain Radiation Therapy – WBRT, SRS).....	54
8. DEEP INSPIRATION BREATH HOLD (DIBH) ΜΕ ΧΡΗΣΗ SURFACE GUIDED RADIATION THERAPY (SGRT) ΣΤΗΝ ΚΛΙΝΙΚΗ ΠΡΑΞΗ	55
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	62

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο τμήμα ακτινοθεραπείας του Νοσοκομείου Mediterraneo υπάρχουν δυο γραμμικοί επιταχυντές :

- Edge Radiosurgery System, της εταιρείας Varian
- Halcyon System, της εταιρείας Varian

Κατά την διάρκεια της θεραπείας με χρήση της τεχνικής DIBH το AlignRT Beam-Hold (VisionRT Ltd., London, UK) 3D σύστημα, το οποίο είναι συνδεδεμένο με τον γραμμικό επιταχυντή και χρησιμοποιείται για να επιτύχει σταθερή, επαναλήψιμη θέση θεραπείας σε αναπνευστική φάση βαθιάς εισπνοής, καταγράφει σε πραγματικό χρόνο της κίνησης του ασθενούς με 6 βαθμούς ελευθερίας (τρεις μετατοπίσεις και τρεις στροφές κατά μήκος των τριών αξόνων (κεφαλουριαίος, προσθιοπίσθιος, πλαγιοπλάγιος) αντίστοιχα.. Το AlignRT σύστημα επικοινωνεί απευθείας με τον γραμμικό επιταχυντή και ενεργοποιεί το “Beam-Hold” όταν η θέση του ασθενούς βγει εκτός ορίων σε σχέση με την αξονική τομογραφία εξομοίωσης. (15)

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗΣ

1.1. Βασικές Αρχές Γραμμικού Επιταχυντή

Ο γραμμικός επιταχυντής παράγει δέσμες ακτίνων – X ή ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας. Λειτουργεί με αντίστοιχο τρόπο με τη λυχνία ακτίνων – X, επιταχύνοντας ηλεκτρόνια με υψηλές τιμές ενέργειας (αρκετά υψηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούνται από τις λυχνίες ακτίνων – X στην ακτινοδιάγνωση), με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων ραδιοσυχνοτήτων (RF). Αυτά τα υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε άμεσα, είτε για την παραγωγή ακτίνων – X. Οι δέσμες ακτίνων – X έχουν συνήθως ενέργεια 6, 10, 18 MV, ενώ οι δέσμες ηλεκτρονίων 6, 9, 12, 15, 18 MeV. (6) Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται ένας Γραμμικός Επιταχυντής.

Όταν ο Γραμμικός Επιταχυντής χρησιμοποιείται για παραγωγή ακτίνων – X, τα ηλεκτρόνια προσπίπτουν σε ειδικό υλικό – στόχο, υψηλού ατομικού αριθμού και χάνουν την ενέργειά τους, της οποίας ένα μέρος (περίπου το 3%) μετατρέπεται σε ακτινοβολία X, ενώ το μεγαλύτερο μέρος μετατρέπεται σε θερμότητα. Ένα ειδικό φίλτρο (φίλτρο επιπέδωσης) χρησιμοποιείται για την ομοιογένεια της χρήσιμης δέσμης, ενώ ένα σύστημα διαφραγμάτων χρησιμοποιείται για να προσαρμόσει τις διαστάσεις της.

Όταν ο Γραμμικός Επιταχυντής χρησιμοποιείται για ακτινοθεραπεία με ηλεκτρόνια, τότε η δέσμη των ηλεκτρονίων εξέρχεται από την επιταχυντική διάταξη μέσω ενός λεπτού παραθύρου και κατευθύνεται προς την κεφαλή όπου σκεδάζεται ή σε μερικές περιπτώσεις σαρώνεται ηλεκτρομαγνητικά ώστε να αποφευχθεί η επιθυμητή διάσταση της χρήσιμης δέσμης. (6)

Τα κύρια εξαρτήματα ενός γραμμικού επιταχυντή είναι (9):

- Πυροβόλο ηλεκτρονίων
- Κυματοδηγός επιτάχυνσης
- Στόχος παραγωγής ακτίνων – Χ
- Γεννήτρια συχνοτήτων RF
- Σύστημα μεταφοράς δέσμης ηλεκτρονίων
- Κεφαλή γραμμικού επιταχυντή
- Στήριγμα κεφαλής
- Κλίνη θεραπείας



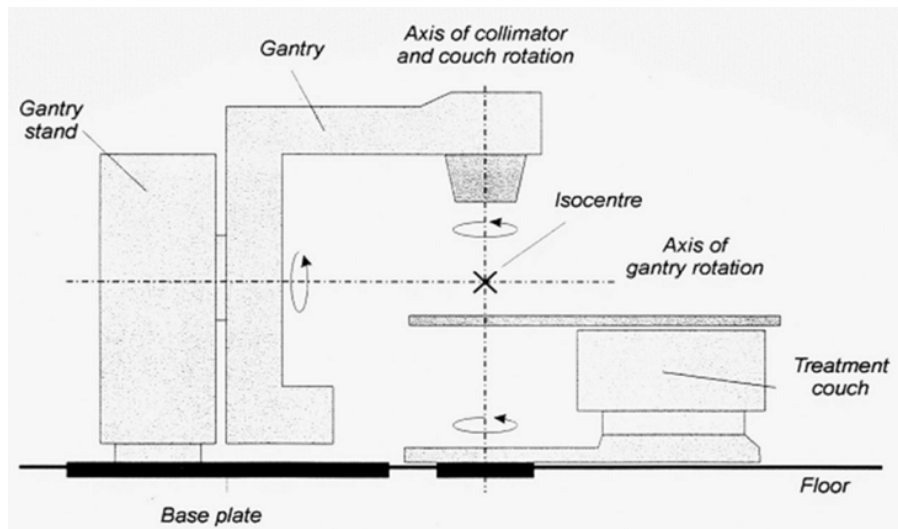
Εικόνα 1: Γραμμικός Επιταχυντής Edge της εταιρείας Varian του Νοσοκομείου Mediterraneo.



Εικόνα 2: Γραμμικός Επιταχυντής Halcyon της εταιρείας Halcyon του Νοσοκομείου Mediterraneo.

1.2. Ισόκεντρο Γραμμικού Επιταχυντή

Όλοι οι Γραμμικοί Επιταχυντές είναι ισοκεντρικοί, δηλαδή η κεφαλή μπορεί να περιστρέφεται κατά 360° με τη χρήση ενός ειδικού βραχίονα, γύρω από ένα σταθερό νοητό σημείο που καλείται Ισόκεντρο και βρίσκεται σε απόσταση 80 – 100 cm από την κεφαλή του Γραμμικού Επιταχυντή. Η κλίνη θεραπείας, η οποία είναι τοποθετημένη κάτω από την κεφαλή, περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα περιστροφής που διέρχεται από το ισόκεντρο. Ο κεντρικός άξονας της δέσμης ακτινοβολίας διέρχεται από το ισόκεντρο. Συνεπώς, το ισόκεντρο αποτελείτο κέντρο περιστροφής ειδικού βραχίονα του Γραμμικού Επιταχυντή (Gantry), της κλίνης που τοποθετείται ο εκάστοτε ασθενής και του συστήματος διαφραγμάτων (Εικόνα 3). Το σημείο αυτό υλοποιείται μέσα στην αίθουσα θεραπείας από την τομή των ορατών επιπέδων laser που είναι τοποθετημένα στους τοίχους και στην οροφή της αίθουσας θεραπείας.



Εικόνα 3: Σχηματική αναπαράσταση ενός γραμμικού επιταχυντή όπου απεικονίζεται το ισόκεντρο αυτού [6]

2. ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

2.1. Βασικές Αρχές Ακτινοθεραπείας

Με τον όρο ακτινοθεραπεία εννοούμε την επιστήμη της οποίας αντικείμενο είναι η θεραπεία όγκων με τη χρήση ιοντιζουσών ακτινοβολιών υψηλής ενέργειας. Είναι μια μη χειρουργική θεραπευτική μέθοδος που στοχεύει στη θανάτωση των καρκινικών κυττάρων και τη μείωση του μεγέθους του όγκου. Εφαρμόζεται είτε αποκλειστικά ή σε συνδυασμό με άλλες τεχνικές (χειρουργική, χημειοθεραπεία, ανοσοθεραπεία, ορμονοθεραπεία).

Ο κλάδος της ακτινοθεραπείας χωρίζεται σε δυο κατηγορίες:

- A) τη βραχυθεραπεία
- B) την εξωτερική ακτινοθεραπεία

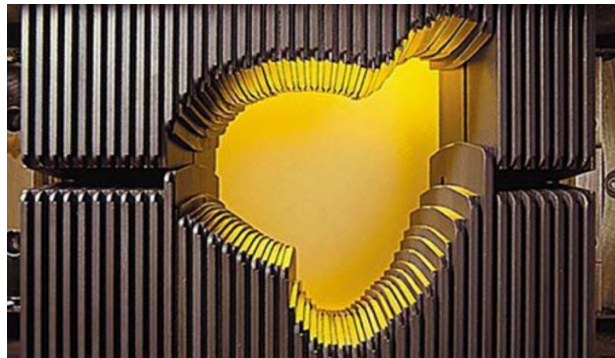
Στη βραχυθεραπεία χρησιμοποιούνται ειδικά σχεδιασμένες πηγές που τοποθετούνται κοντά στο στόχο και σε κάποιες περιπτώσεις ακόμα και μέσα σε αυτούς. (6) Έτσι, ο όγκος στόχος δέχεται πολύ μεγαλύτερη δόση ακτινοβολίας σε σχέση με τους παρακείμενους υγιείς ιστούς, λόγω της μείωσης της δόσης από την πηγή με το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου. Αυτό είναι και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της βραχυθεραπείας σε σύγκριση με την εξωτερική ακτινοθεραπεία. Οι κυριότεροι τύποι καρκίνου στους οποίους εφαρμόζεται βραχυθεραπεία είναι οι γυναικολογικοί (καρκίνοι μήτρας, κόλπου, μαστού), ο καρκίνος ρινοφάρυγγα καθώς και ο καρκίνος του προστάτη.

Στην εξωτερική ακτινοθεραπεία η πηγή ακτινοβολίας βρίσκεται σε σημαντική απόσταση από το σώμα του ασθενούς, στην κεφαλή του Γραμμικού Επιταχυντή και ο όγκος – στόχος ακτινοβολείται με εξωτερικές δέσμες φωτονίων, ηλεκτρονίων και σπανιότερα πρωτονίων. Η δόση που θα λάβει ο όγκος καθορίζεται από το χρόνο ακτινοβολίας, τον ρυθμό της δέσμης, το πεδίο ακτινοβολίας και την ενέργεια της δέσμης ακτινοβολίας. Η δέσμη ακτινοβολίας που εξέρχεται από το μηχάνημα χαρακτηρίζεται από: α) τις διαστάσεις του πεδίου και β) την έντασή της, που καθορίζουν το χρόνο έκθεσης στην ακτινοβολία. Η δέσμη ακτινοβολίας διαμορφώνεται στη μεν ακτινοβολία φωτονίων από το ίδιο το μηχάνημα, στη δε ακτινοβολία με ηλεκτρόνια με πρόσθετους κώνους διαφόρων διαστάσεων (Εικόνα 4), οι οποίοι τοποθετούνται στην κεφαλή του βραχίονα του γραμμικού επιταχυντή (gantry) και σκοπός τους είναι να διαμορφώσουν ένα σταθερό πεδίο ακτινοβολίας (π.χ. 10x10 cm²) σε περιπτώσεις εξωτερικής επιφανειακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 4: Κώνοι (Cones), τοποθετούνται στην κεφαλή του γραμμικού επιταχυντή για επιφανειακή ακτινοβολία [1]

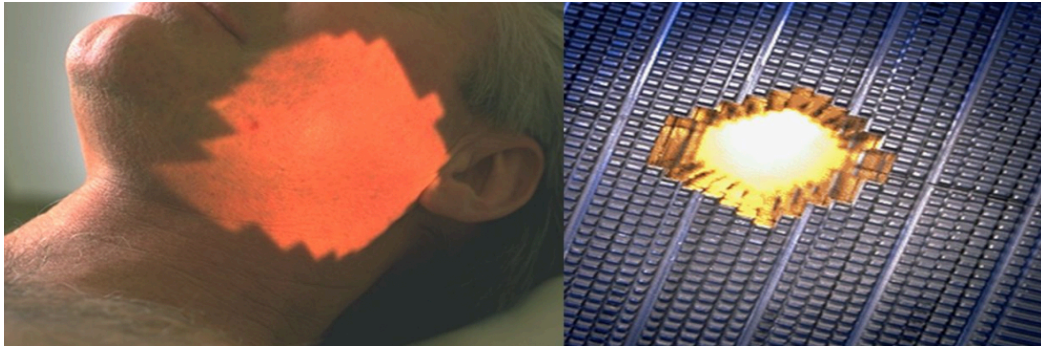
Η προβολή της δέσμης στο σώμα του ασθενούς αλλά και στο βάθος που εντοπίζεται ο όγκος στόχος καλείται πεδίο της ακτινοθεραπείας και μετριέται σε cm^2 . Η δέσμη μπορεί να διαμορφωθεί περαιτέρω ως προς το σχήμα της με τη χρήση μεταλλικών φίλτρων «φραγμού» ακτινοβολίας (Blocks) (Εικόνα 6), τα οποία παρεμβάλλονται στη δέσμη ή με τη χρήση πολύφυλλων κατευθυντήρων (Multi Leaf Collimators = MLCs), οι οποίοι είναι ενσωματωμένοι στο σύστημα του γραμμικού επιταχυντή (Εικόνα 5). Σκοπός της διαμόρφωσης της δέσμης, τόσο ως προς το σχήμα, όσο και ως προς την ενέργεια, είναι η ακριβής στόχευση της περιοχής ακτινοβόλησης και η καλύτερη ομοιογένεια κατανομής της δόσης σε αυτήν.



Εικόνα 5: Multi Leaf Collimatos (MLC's) [2]



Εικόνα 6: Blocks [3]



Εικόνα 7: Πεδίο ακτινοβολήσης διαμορφωμένου σχήματος με τη χρήση κατευθυντήρα πολλαπλών φύλλων ώστε να προσαρμόζεται στο σχήμα του προς ακτινοβολήση όγκου – στόχου. [4]

Η ακτινοθεραπεία γίνεται σε ημερήσιες δόσεις (συνεδρίες), το σύνολο των οποίων αποτελεί τη θεραπευτική δόση που είναι κατάλληλη για τον κάθε όγκο, το ζητούμενο θεραπευτικό αποτέλεσμα και η οποία εξαρτάται από την ακτινοευαισθησία των οργάνων που γειτνιάζουν με τον όγκο στόχο. Η ακτινοθεραπευτική διαδικασία περιλαμβάνει διάφορα στάδια και πραγματοποιείται από θεραπευτική ομάδα, η οποία περιλαμβάνει τους ακτινοθεραπευτές – ογκολόγους, τους φυσικούς ιατρικής – ακτινοφυσικούς και τους τεχνολόγους – ακτινολόγους.

Στόχος της ακτινοθεραπείας είναι η μεγιστοποίηση της δόσης στον όγκο – στόχο και ταυτόχρονα η ελαχιστοποίηση της δόσης στα γειτονικά υγιή κύτταρα. Ο σκοπός αυτός δεν είναι εύκολα πραγματοποιήσιμος, καθώς οι δέσμες ακτινοβολίας περνούν μέσα από υγιείς ιστούς, προκειμένου να φτάσουν στον όγκο – στόχο.

Όσον αφορά στις εξελίξεις των ακτινοθεραπευτικών τεχνικών, έχουν να κάνουν αποκλειστικά και μόνο με τη μείωση του ποσοστού των ακτινοβολούμενων υγιών ιστών, με ταυτόχρονη αύξηση της δόσης στον όγκο – στόχο. Οι σύγχρονες τεχνικές ακτινοθεραπείας που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι οι εξής: **Συμβατική Διδιάσταση Ακτινοθεραπεία (2D – Conventional Radiotherapy ή 2D – CRT)**, **Σύμμορφη Τρισδιάστατη Ακτινοθεραπεία (3D – Conformal Radiotherapy ή 3D – CRT)**, **Στερεοτακτική Ακτινοθεραπεία Διαμορφούμενης Έντασης (Intensity Modulated Radiotherapy)**, **Απεικονιστικά Καθοδηγούμενη Ακτινοθεραπεία (Image – Guided Radiation Therapy)**, **Θεραπεία με φορτισμένα σωματίδια (Πρωτόνια).**

2.2. Τεχνικές Εξωτερικής Ακτινοθεραπείας

2.2.1. Συμβατική Δισδιάστατη Ακτινοθεραπεία (2D – Conventional Radiotherapy ή 2D – CRT)

Η συμβατική δισδιάστατη ακτινοθεραπεία (2D-CRT) αποτελεί είδος εξωτερικής ακτινοθεραπείας, το οποίο χρησιμοποιείται τόσο για παρηγορική ακτινοθεραπεία, όσο και για επιφανειακή ακτινοβολήση με ηλεκτρόνια. Ο ακτινοθεραπευτής ογκολόγος σχεδιάζει πεδία ακτινοβολήσης, ανάλογα με το μέγεθος και τη θέση του όγκου. Τα πεδία αυτά είναι τετράγωνα ή ορθογώνια. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι οι υγιείς ιστοί ακτινοβολούνται με την ίδια ένταση που ακτινοβολείται ο όγκος. Επίσης, κατά τον υπολογισμό της δόσης δεν συνυπολογίζεται η συνεισφορά της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας εκτός από το πεδίο ακτινοβολίας. (1)

2.2.2. Σύμμορφη Τρισδιάστατη Ακτινοθεραπεία (3D – Conformal Radiotherapy ή 3D – CRT)

Στην τεχνική αυτή η κάθε δέσμη που χρησιμοποιείται προσαρμόζεται στο σχήμα του όγκου – στόχου μέσω του συστήματος πολύφυλλων κατευθυντήρων (MLC). Η 3D – CRT χρησιμοποιεί πολλαπλές δέσμες ακτινοβολίας ομοιόμορφης έντασης, με διατομή η οποία είναι ίδια με τη διατομή του όγκου – στόχου, όπως την <<συναντά>> η ακτινοβόλουσα δέσμη. Τα πλάνα θεραπείας σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε οι δέσμες τις ακτινοβολίας να περικλείουν μόνο τον όγκο, αποκλείοντας όσο το δυνατόν περισσότερο την έκθεση των κρίσιμων οργάνων (Organs At Risk). Με τον τρόπο αυτό, ο όγκος παίρνει μεγάλο ποσό της δόσης, με ταυτόχρονη μείωση της ακτινικής επιβάρυνσης των παρακείμενων υγιών ιστών.

2.2.3. Ακτινοθεραπεία Διαμορφούμενης Έντασης (Intensity Modulated Radiotherapy - IMRT)

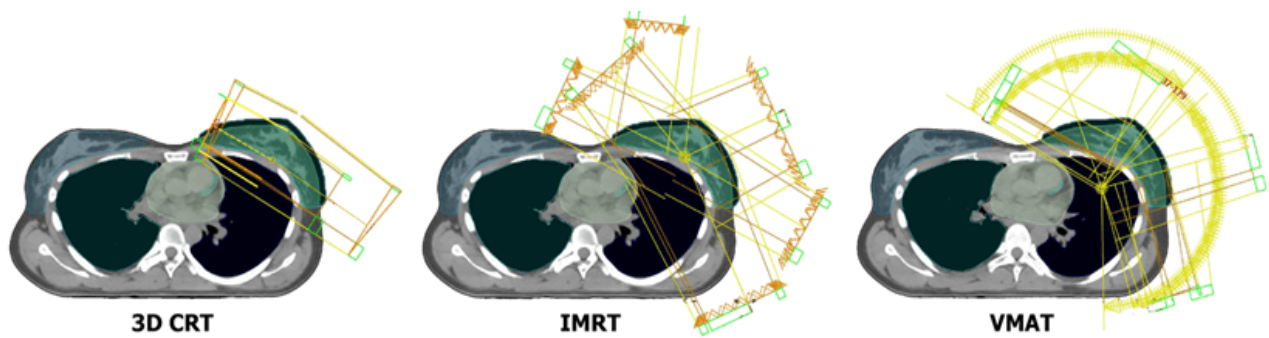
Αποτελεί εξέλιξη της τρισδιάστατης σύμμορφης ακτινοθεραπείας. Βασίζεται στη χρήση πολλαπλών πεδίων διαμορφούμενων τόσο ως προς το σχήμα όσο και ως προς την έντασή τους (6). Ρυθμίζοντας την ένταση της δέσμης, επιτυγχάνεται καλύτερη κάλυψη του όγκου και μικρότερη απόδοση δόση στους γύρω ιστούς (2).

Σημαντικό μειονέκτημα στην IMRT αποτελεί το γεγονός ότι ο χρόνος θεραπείας είναι σχετικά μεγάλος (περίπου **30 min**), λόγω του μεγάλου αριθμού των δεσμών που χρησιμοποιούνται και της πολυπλοκότητας των πλάνων θεραπείας. Επιπλέον, όταν χρησιμοποιούνται πολλές δέσμες με υψηλό βαθμό διαμορφούμενης έντασης κάθε δέσμης, αυξάνεται η ακτινοβολία λόγω της σκέδασης και της διαρροής της. Για τους παραπάνω λόγους είναι απαραίτητο να λαμβάνεται υπ όψιν σε κάθε πλάνο θεραπείας η ισορροπία μεταξύ της ποιότητας της ακρίβειας και του χρόνου θεραπείας (7).

Τόσο στη 3D – CRT όσο και στην IMRT, υπάρχουν σφάλματα τοποθέτησης του ασθενούς, που δημιουργούν αβεβαιότητα στις κατανομές της δόσης που έχουν υπολογιστεί από το σύστημα σχεδιασμού θεραπείας. Επιπλέον και στις δύο τεχνικές δε λαμβάνεται υπ' όψιν η κίνηση του όγκου – στόχου λόγω αναπνοής, αλλά και η μείωση του μεγέθους του όγκου μετά από κάθε θεραπεία.

2.2.4. Ογκομετρικά Διαμορφούμενη Τοξοειδής Ακτινοθεραπεία (Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT))

Η τοξοειδής ακτινοθεραπεία διαμορφούμενης έντασης (VMAT) αποτελεί εξέλιξη της 3D-CRT, με την οποία μπορούν να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά στην διαμόρφωση και σχηματισμό της κατανομής της δόσης ώστε να προσαρμοστεί (συμμορφωθεί) στο σχήμα του όγκου, έτσι η δόση στους γειτονικούς υγιείς ιστούς μειώνεται με την μέθοδο αποκλεισμού με τα MLC των κρίσιμων οργάνων. Συγκεκριμένα είναι μια τεχνική με την οποία η δόση χορηγείται από πεδία διαμορφούμενης έντασης από μια απλή περιστροφή ή ακόμη και περισσότερες του Γραμμικού Επιταχυντή ο οποίος περιέχει πολλαπλά φύλλα κατευθυντήρων MLC. Ουσιαστικά τα MLC αλλάζουν το σχήμα του πεδίου κατά την περιστροφή του Γραμμικού Επιταχυντή ενώ ταυτόχρονα η ένταση της δέσμης μεταβάλλεται δίνοντας την δυνατότητα παρόμοιας ποιότητας εφαρμογής πλάνων θεραπείας με την συμβατική IMRT σε πολύ μικρότερο χρόνο. (10)



*Εικόνα 8: Σχηματική αναπαράσταση τεχνικών 3D CRT, IMRT, VMAT σε Ca αριστερού μαστού.
(12)*

2.2.5. Απεικονιστικά Καθοδηγούμενη Ακτινοθεραπεία (Image – Guided Radiation Therapy)

Στα διάφορα στάδια της τρισδιάστατης σύμμορφης ακτινοθεραπείας και της IMRT θεραπείας υπεισέρχονται γεωμετρικές αβεβαιότητες, που οφείλονται στην αναπνοή και οι οποίες επηρεάζουν την ακρίβεια της απεικόνισης, τον καθορισμό των ορίων του όγκου – στόχου, καθώς και τη χορήγηση της δόσης. Η IGRT χρησιμοποιώντας απεικονιστικά συστήματα που είναι ενσωματωμένα στον γραμμικό επιταχυντή επιτρέπει τον περιορισμό των γεωμετρικών σφαλμάτων (συστηματικών και τυχαίων), τη σημαντική μείωση των περιθωρίων και την ακριβή στόχευση του όγκου. Η συνηθέστερη τεχνική που χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της θεραπείας για την εξάλειψη των αβεβαιοτήτων, λόγω αναπνοής, είναι η τεχνική gating. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή ο ασθενής αναπνέει φυσιολογικά και η αναπνοή του ελέγχεται και καταγράφεται. Όταν ο όγκος μετακινηθεί έξω από την περιοχή του στόχου, η δέσμη παύει να ακτινοβολεί τον ασθενή. Στην gated θεραπεία, είναι απαραίτητο οι εικόνες Υπολογιστικής Τομογραφίας που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό, να αναπαριστούν πιστά την κατάσταση του ασθενούς κατά τη διάρκεια της θεραπείας. Το απεικονιστικό σύστημα διαγνωστικών ακτίνων Χ, που είναι ενσωματωμένο στον γραμμικό επιταχυντή, επιτρέπει τη λήψη τομογραφίας κωνικής δέσμης (cone-beam computed tomography) για την επιβεβαίωση της θέσης θεραπείας.

2.2.6. Στερεοτακτική Ακτινοθεραπεία

Η στερεοτακτική ακτινοθεραπεία διακρίνεται σε δύο υποκατηγορίες:

A) Στερεοτακτική Ακτινοχειρουργική (Stereotactic Radiosurgery - SRS), η οποία λαμβάνει χώρα σε μία μόνο συνεδρία (χρησιμοποιείται κυρίως για μικρές ενδοκρανιακές βλάβες).

B) Στερεοτακτική Ακτινοθεραπεία (Stereotactic Radiotherapy), η οποία λαμβάνει χώρα σε περισσότερες από μια συνεδρίες, για τη θεραπεία κακοηθών βλαβών, συνήθως σαν συμπληρωματική θεραπεία (boost). (2)

Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις η δόση χορηγείται στην περιοχή βλάβης, με τυπικούς όγκους $1 - 35 \text{ cm}^3$. Η δόση στην στερεοτακτική ακτινοθεραπεία μπορεί να χορηγηθεί είτε με στερεοτακτική εμφύτευση πηγών, μια τεχνική που καλείται και ως στερεοτακτική βραχυθεραπεία, είτε με πολλαπλές εξωτερικές στενές δέσμες φωτονίων σε πολλά μη συνεπίεδα τόξα. Τα κύρια χαρακτηριστικά της στερεοτακτικής ακτινοθεραπείας είναι ο υψηλός βαθμός συμμόρφωσης της δέσμης που χορηγείται με ακρίβεια 5% στον όγκο – στόχο και με εξαιρετικά γρήγορη πτώση της δόσης έξω από αυτόν καθώς και η μεγάλη χωρική ακρίβεια (1 mm) στη χορήγηση των δεσμών. σε όλα τα βήματα της θεραπείας σημαντική είναι η ακινητοποίηση όπως φαίνεται στην εικόνα 9, η απεικόνιση, ο εντοπισμός και η τοποθέτηση του ασθενούς. (3)



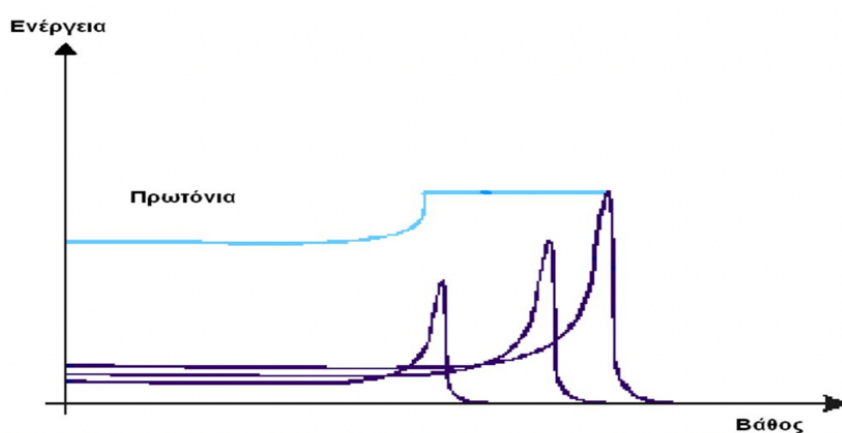
Εικόνα 9: Τοποθέτηση και ακινητοποίηση κεφαλιού στη στερεοτακτική ακτινοχειρουργική- Stereotactic Radiosurgery - SRS (Νοσοκομείο Mediterraneo).

2.2.7. Στερεοτακτική Ακτινοθεραπεία Σώματος (Stereotactic Body Radiation Therapy - SBRT)

Η τεχνική SBRT είναι μια μη επεμβατική μέθοδος που χρησιμοποιεί πολλαπλές δέσμες και σχετικά υψηλή δόση ακτινοβολίας, με σκοπό την ακτινοβόληση συγκεκριμένων διαστάσεων όγκων – στόχων ($\leq 3 - 5$ cm) οπουδήποτε στο σώμα του ασθενούς. Η χορήγηση της δόσης ακτινοβολίας γίνεται από 1 - 5 συνεδρίες. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη θεραπεία όγκων στους πνεύμονες, σπονδυλική στήλη, ήπαρ, τράχηλο, λεμφαδένες και άλλους ιστούς. (34)

2.2.8. Θεραπεία με φορτισμένα σωματίδια (Πρωτόνια)

Κύριο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου τύπου ακτινοθεραπείας αποτελεί το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται πρωτόνια. Τα πρωτόνια δίνουν το μέγιστο της δόσης στο τέλος της τροχιάς τους και στη συνέχεια η δόση μηδενίζεται (Κορυφή Bragg). Η θέση της κορυφής Bragg εξαρτάται από την αρχική ενέργεια της δέσμης και συνεπώς μπορεί να κατευθυνθεί στο επιθυμητό βάθος όπου βρίσκεται ο όγκος – στόχος, επιλέγοντας την κατάλληλη τιμή της αρχικής ενέργειας της δέσμης. Επειδή το εύρος της κορυφής Bragg είναι μικρό, για να καλυφθεί ο όγκος – στόχος χρησιμοποιείται στην πράξη φάσμα ενεργειών (6) (Εικόνα 10). Αυτή η θεραπεία χρησιμοποιείται εκεί όπου χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια στόχευσης (όγκος σε στενή γειτνίαση με ευαίσθητες στην ακτινοβολία φυσιολογικές δομές) (2).



Εικόνα 10: Φάσμα ενεργειών κατάλληλης έντασης διαμορφώνει την ομαλή κατανομή των κορυφών Bragg, ώστε ο όγκος να λαμβάνει ομοιόμορφη δόση [4]

3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΝΟΥ ΘΕΡΑΠΕΙΑΣ

3.1. Gross Tumor Volume (GTV):

Αρχικά ο ακτινοθεραπευτής ογκολόγος σχεδιάζει το gross tumor volume (GTV) ο οποίος είναι ο όγκος που είναι ορατός μέσω απεικόνισης (όγκος στόχος). Το GTV αναπαριστά μόνο το ένα τμήμα του όγκου, η οριοθέτησή του είναι δυνατή εάν ο όγκος είναι ψηλαφητός ή/και αναδεικνύεται στα απεικονιστικά δεδομένα. Ο καθορισμός του GTV βασίζεται σε απεικονιστικά δεδομένα (CT, MRI, US), σε κλινικές διαγνωστικές μεθόδους (παθολογικές – ιστολογικές αναφορές) και κλινική εξέταση.

3.2. Clinical Tumor Volume (CTV)

Ο κλινικός όγκος-στόχος (clinical tumour volume - CTV) περιλαμβάνει τον όγκο στόχο (GTV) με ένα όριο που αντιστοιχεί σε μη απεικονιστικά αναδεικνυόμενη νόσο (sub-clinical disease). Συγκεκριμένα αυτός ο όγκος πρέπει να θεραπευτεί επαρκώς ώστε να επιτευχθεί ο σκοπός της θεραπείας. Το CTV περιέχει το GTV και την υποκλινική μικροσκοπική κακοήθεια που πρέπει να εξαλειφθεί. Επίσης περιέχει και περιοχές που θεωρούνται “επικίνδυνες” και απαιτείται θεραπεία (π.χ. θετικοί λεμφαδένες). Το οποίο σχεδιάζεται και προσδιορίζεται από τον ακτινοθεραπευτή ογκολόγο. Περιέχει περιθώριο γύρω από το GTV όπου $CTV = GTV + 1 \text{ cm}$, σε κάποιες περιπτώσεις είναι το ίδιο με τον GTV (π.χ. boost στον προστάτη).

3.3. Internal Target Volume (ITV)

Ο εσωτερικός όγκος-στόχος (ITV) αποτελείται από το CTV + το εσωτερικό περιθώριο, το οποίο σχεδιάζεται λαμβάνοντας υπόψη ότι το CTV ποικίλει σε μέγεθος και θέση εξαιτίας της κίνησης οργάνων (π.χ. αναπνοή περιεχόμενο σε κύστη / ορθό).

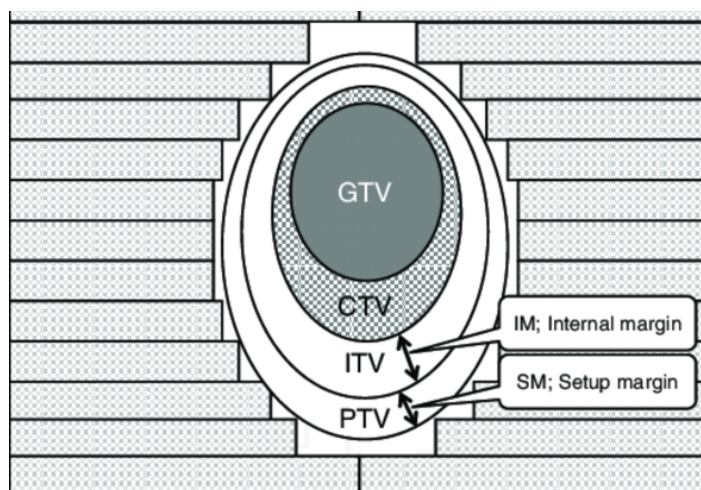
3.4. Planning Tumor Volume (PTV)

Το PTV ορίζεται ώστε να επιλεχθούν οι κατάλληλες δόσμες για θεραπεία και να εξασφαλιστεί ότι το CTV θα λάβει τη συνταγογραφούμενη δόση.

Σε πολλές περιπτώσεις απαιτείται επιπλέον περιθώριο κατά τη διάρκεια του πλάνου θεραπείας ($PTV = CTV + 1 \text{ cm}$).

3.5. Organs at Risk (OARs)

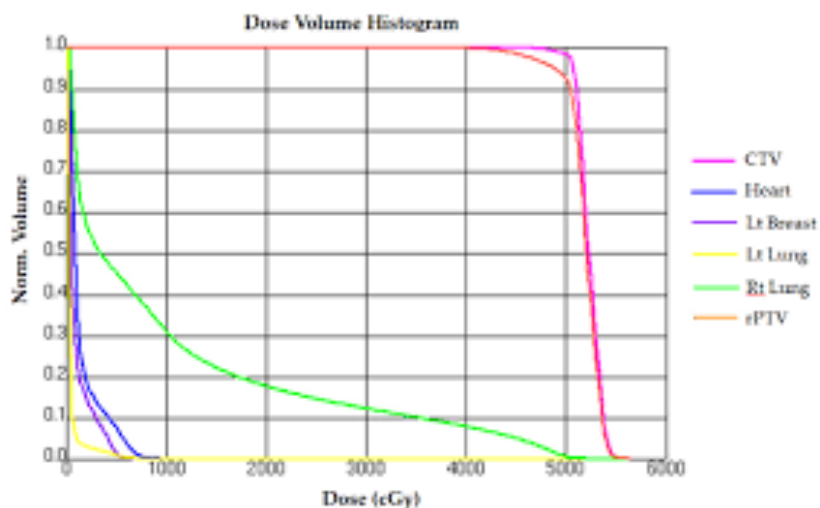
Όργανα των οποίων η ευαισθησία σε ακτινοβολία είναι τέτοια ώστε η απαιτούμενη δόση πρέπει να συγκριθεί με την ακτινοευαισθησία τους (dose constraints), και πιθανώς να απαιτείται αλλαγή στις δόσμες ή στη δόση (π.χ. όργανα με χαμηλή δόση ανοχής: φακοί ματιών, ρινοφάρυγγας, εγκέφαλος) (9)



Εικόνα 11: Σχηματική αναπαράσταση GTV, CTV, ITV, PTV (7)

3.6. Dose Volume Histogram (DVH)

Το Ιστόγραμμα Δόσης Όγκου (Dose Volume Histogram – DVH) είναι μια γραφική παράσταση στην οποία συνοψίζονται οι πληροφορίες που περιέχονται στην κατανομή της δόσης και χρησιμεύει για την αξιολόγηση των πλάνων θεραπείας (Εικόνα 12). Εκφράζει την δόση που αποδίδεται μέσα σε καθορισμένο όγκο. Τα ιστογράμματα αυτά παρουσιάζουν το ποσοστό του όγκου ή/και των υγιών οργάνων που απορρόφησε συγκεκριμένη τιμή δόσης αφού έχει αποδειχθεί ότι η ανταπόκριση του όγκου και των υγιών ιστών στην ακτινοβολία δεν εξαρτάται μόνο από την τιμή της μέσης ή μέγιστης ακτινοβολίας αλλά κυρίως από το ποσοστό του όγκου στόχου που απορροφά συγκεκριμένη δόση.



Εικόνα 12: Ιστόγραμμα δόσης όγκου [8]

4. ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ

Οι γραμμικοί επιταχυντές έχουν ενσωματωμένα συστήματα απεικόνισης στα οποία λαμβάνονται απεικονιστικά δεδομένα (2D / 3D), με δέσμες kV ή/και MV, προκειμένου να επιβεβαιωθεί η θέση θεραπείας. Τα απεικονιστικά αυτά δεδομένα συγκρίνονται με τα αντίστοιχα της τομογραφίας σχεδιασμού (εξομοίωσης) ώστε να γίνουν οι απαραίτητες διορθώσεις με βάση την θέση, το μέγεθος και το σχήμα του όγκου. Ο γραμμικός επιταχυντής διαθέτει το σύστημα One Board Imager το οποίο περιλαμβάνει απεικονιστικά συστήματα για kV (kilovoltage) ή MV απεικόνιση, λαμβάνοντας 2D ή 3D (τομογραφία κωνικής δέσμης – cone beam CT – CBCT) δεδομένα. Με τα παραπάνω συστήματα απεικόνισης δίνεται η δυνατότητα να εντοπίζονται οι αλλαγές στην θέση, το μέγεθος και το σχήμα του όγκου και να γίνονται έγκαιρα η τροποποιήσεις το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα της θεραπείας.

4.1. KV σύστημα απεικόνισης (KV Imager)

Το kV απεικονιστικό σύστημα είναι προσαρμοσμένο στον βραχίονα (gantry) του γραμμικού επιταχυντή σε γωνία 90° ως προς την κεντρική ακτίνα της θεραπευτικής δέσμης - και αποτελεί τμήμα του One Board Imager. Αποτελείται από μια λυχνία ακτίνων X (kilovoltage- kV Source) και από έναν επίπεδο ανιχνευτή στερεάς κατάστασης (kV detector ή flat panel detector). Η λυχνία ακτίνων X παράγει τάση 40-150 kV ενώ ο ανιχνευτής περιλαμβάνει συστοιχίες φωτοδιόδων, που σχηματίζουν μια παραλληλόγραμμη <<κυψέλη>> ανιχνευτών. (33)

4.2. MV σύστημα απεικόνισης (MV Imager)

Το MV απεικονιστικό σύστημα είναι και αυτό προσαρμοσμένο στον βραχίονα (gantry) του γραμμικού επιταχυντή το οποίο είναι τμήμα του One Board Imager και περιλαμβάνει μια συσκευή απεικόνισης MV EPID (EPID – Electronic Portal Imaging Device). Το MV απεικονιστικό σύστημα ουσιαστικά είναι ένας ανιχνευτής ο οποίος αποτελείται από άμορφο πυρίτιο όπως και ο kV detector. (33)

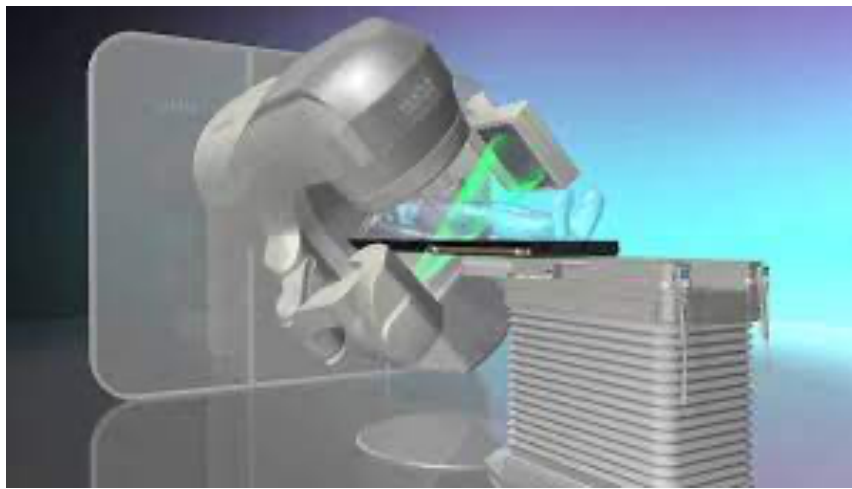
4.3. Υπολογιστική Τομογραφία Κωνικής δέσμης στην Ακτινοθεραπεία (Cone Beam Computed Tomography – CBCT)

Η υπολογιστική τομογραφία κωνικής δέσμης (Cone beam computed tomography CBCT) αποτελεί μια πρόσφατη τεχνική λήψης στην ακτινοθεραπευτική διαδικασία. Είναι μια τομογραφική τεχνική η οποία βασίζεται στη συνεχή κίνηση του συστήματος λυχνία-ανιχνευτής γύρω από την ανατομική δομή που θέλουμε να απεικονίσουμε με σύγχρονη λήψη δισδιάστατων (2D) ακτινογραφικών προβολών, οι οποίες στη συνέχεια ανασυντίθενται για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου τομογραφικού όγκου δεδομένων. Η λυχνία ακτίνων-Χ και ο ανιχνευτής περιστρέφονται γύρω από την περιοχή ενδιαφέροντος.

Η χρήση της υπολογιστικής τομογραφίας κωνικής δέσμης στην ακτινοθεραπεία αυξάνεται λόγω ευρείας εφαρμογής συστημάτων kV στους σημερινούς γραμμικούς επιταχυντές. Η αξονική τομογραφία κωνικής δέσμης λειτουργεί ως αποτελεσματικό εργαλείο ακτινοθεραπείας καθοδηγούμενης από την εικόνα (IGRT) για την επαλήθευση της θέσης του ασθενούς. Ανοίγει επίσης τη δυνατότητα επανεξέτασης σε πραγματικό χρόνο για την βελτιστοποίηση των πλάνων θεραπείας για την προσαρμοστική ακτινοθεραπεία. Η ακινητοποίηση του εξεταζόμενου είναι πολύ σημαντική για την λήψη δεδομένων με την χρήση της υπολογιστικής τομογραφίας κωνικής δέσμης διότι οποιαδήποτε κίνηση υποβαθμίζει την τελική εικόνα. Με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα να εξασφαλιστεί η σωστή τοποθέτηση του ασθενούς, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να γίνουν διορθώσεις για τυχόν αλλαγές στη θέση του ασθενούς και τον εντοπισμό του στόχου πριν δοθεί κάθε θεραπεία. (23)

Τη στιγμή που έχει ευθυγραμμιστεί ο ασθενής με τα λέιζερ του γραμμικού επιταχυντή και πριν ξεκινήσει η ακτινοβολήση, γίνεται λήψη τομογραφίας κωνικής δέσμης. Στην

οθόνη του γραμμικού επιταχυντή εμφανίζεται η ληφθείσα τομογραφία σε συνδυασμό με την αξονική τομογραφία σχεδιασμού. Με ειδικό λογισμικό συγκρίνονται η θέση του όγκου – στόχου στις δύο αξονικές και αν βρεθεί ο όγκος – στόχος να απέχει από την ακριβή θέση ακτινοβολήσης ακόμη και με διαφορά κλασμάτων χιλιοστού, γίνεται επί τόπου διόρθωση της θέσης του ασθενούς στη σωστή θέση, με τη χρήση ειδικού λογισμικού. Έτσι επιτυγχάνεται η απόλυτη στόχευση του όγκου – στόχου (8).



Εικόνα 13: Τομογραφία κωνικής δέσμης Cone beam computed tomography - CBCT ενσωματωμένο σε γραμμικό επιταχυντή. [11]

5. ΑΞΟΝΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ-ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

5.1. Αξονική Τομογραφία Εξομοίωσης (CT Simulation)

Η αξονική τομογραφία εξομοίωσης είναι μια πολύ σημαντική εξέλιξη όσον αφορά στο σχεδιασμό πλάνου θεραπείας. Με την χρήση αξονικού τομογράφου λαμβάνουμε τρισδιάστατα απεικονιστικά δεδομένα, σε συγκεκριμένη γεωμετρία (θέσης θεραπείας) προκειμένου να σχεδιαστεί και να χορηγηθεί με ακρίβεια η θεραπεία στον ασθενή.

Η διαδικασία της αξονικής τομογραφίας εξομοίωσης αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Προετοιμασία ασθενή: πριν την αξονική τομογραφία ζητείται από τον ασθενή να αφαιρέσει τα ρούχα του και να φορέσει νοσοκομειακή ρόμπα. Αν τυχόν φοράει κοσμήματα ή μεταλλικά αντικείμενα θα πρέπει να τα αφαιρέσει και αυτά, καθώς μπορούν να επηρεάσουν την απεικόνιση δημιουργώντας τεχνικά σφάλματα. Ο ασθενής θα τοποθετηθεί στο κρεβάτι της αξονικής τομογραφίας με τρόπο που αντιπροσωπεύει με ακρίβεια και επαναληψιμότητα την θέση της θεραπείας τους
2. Ακινητοποίηση: Ανάλογα με την περιοχή θεραπείας ο ασθενής μπορεί να χρειαστεί να ακινητοποιηθεί χρησιμοποιώντας συσκευές όπως: μάσκα ακινητοποιήσεις, κοινό μαξιλάρι, small-large knee wedge, foot block, breast board, arm shuttle, vacuum κ.α.. Η ακινητοποίηση συμβάλει στην διασφάλιση ότι ο ασθενής διατηρεί την ίδια θέση καθ' όλη την διάρκεια των συνεδριών της θεραπείας
3. Σάρωση αξονικού τομογράφου: Ο αξονικός τομογράφος σαρώνει τον ασθενή κυκλικά για να αποτυπώσει εικόνες του σώματος του. Η διαδικασία σάρωσης είναι ανώδυνη και συνήθως διαρκεί μόνο λίγα λεπτά. Είναι σημαντικό ο ασθενής να παραμείνει ακίνητος και να ακολουθεί τις οδηγίες που του δίνει ο τεχνολόγος – ακτινολόγος κατά τη διάρκεια της σάρωσης.
4. Λήψη εικόνας: Ο αξονικός τομογράφος καταγράφει πολλές εικόνες, οι οποίες στην συνέχεια χρησιμοποιούνται για την δημιουργία μιας τρισδιάστατης αναπαράστασης της ανατομίας του ασθενούς. Οι εικόνες αυτές παρέχουν

λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την θέση, το σχήμα και το μέγεθος του όγκου, καθώς και τους γύρω υγιείς ιστούς και όργανα.

5. Παράγοντας αντίθεσης (εάν είναι απαραίτητο): Σε ορισμένες περιπτώσεις , κατά την διάρκεια της αξονικής τομογραφίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σκιαγραφικό για να βελτιωθεί η ορατότητα ορισμένων δομών ή αιμοφόρων αγγείων. Το σκιαγραφικό χρησιμοποιείται συνήθως ενδοφλεβίως.
6. Επεξεργασία εικόνας και σχεδιασμός θεραπείας: Οι ληφθείσες εικόνες αξονικής τομογραφίας μεταφέρονται σε ένα σύστημα υπολογιστή (το λεγόμενο σύστημα σχεδιασμού θεραπείας – Treatment Planning System), όπου οι ακτινοθεραπευτές ογκολόγοι και οι ακτινοφυσικοί χρησιμοποιούν ένα εξειδικευμένο λογισμικό για τον σχεδιασμό του περιγράμματος του όγκου-στόχου και των κρίσιμων δομών και το σχεδιασμό πλάνου θεραπείας αντίστοιχα. Με το πλάνο θεραπείας εστιάζονται οι περιοχές που πρέπει να αποφευχθούν όπως τα κοντινά στον όγκο όργανα σε κίνδυνο (organ at risk)
7. Tattoo: για να διασφαλιστεί οι ακριβείς καθημερινή επαναλήψιμη θέση της θεραπείας, οι τεχνολόγοι τοποθετούνε μικρά σημάδια στο σώμα του ασθενούς με μελάνη (tattoo). Αυτά τα σημάδια χρησιμεύουν ως σημεία αναφοράς για την ακριβή τοποθέτηση στις επόμενες συνεδρίες. (5)



Εικόνα 14: Αξονικός Τομογράφος (CT Simulator) TOSHIBA 16 τομών, του Νοσοκομείου Mediterraneo.

5.2. Αξονική Τομογραφία Εξομοίωσης με χρήση DIBH

Η εξομοίωση αξονικής τομογραφίας με χρήση βαθιάς εισπνοής (DIBH) είναι μια εξειδικευμένη τεχνική που χρησιμοποιείται κατά την διαδικασία εξομοίωσης αξονικής τομογραφίας για τον σχεδιασμό της θεραπείας η τεχνική DIBH χρησιμοποιείται για την μείωση της κίνησης ορισμένων οργάνων όπως η καρδιά και οι πνεύμονες. Επιπλέον, η αναπνευστική φάση βαθιάς εισπνοής έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόστασης, στον προσθιοπίσθιο άξονα, μεταξύ του θωρακικού τοιχώματος και της καρδιάς και συνεπώς την μείωση της δόσης στην καρδιά. Αν και χρησιμοποιείται συνήθως για τον καρκίνο του μαστού, μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί και για άλλους τύπου καρκίνου, όπως καρκίνο του θώρακα ή της κοιλιάς.

Η διαδικασία εξομοίωσης αξονικής τομογραφίας με χρήση DIBH αποτελείται από τα εξής βήματα:

1. Προετοιμασία ασθενούς: ο ασθενής τοποθετείται στο κρεβάτι αξονικής τομογραφίας με τρόπο που να επιτρέπει την ακριβή και επαναλήψιμη θέση θεραπείας. Για την τεχνική DIBH, ο ασθενής σηκώνει τα χέρια ψηλά κρατώντας τις λαβές του arm shuttle. Έπειτα ο ασθενής ευθυγραμμίζεται σύμφωνα με τα επιτοίχια laser, έτσι ώστε να έχουμε επαναλήψιμη θέση. Τοποθετείται κάτω από την ξιφοειδή απόφυση το reflecting, όπου μέσω αυτού αναγνωρίζεται η ανάσα του εκάστοτε ασθενούς θα πάρει οδηγίες να πάρει μια βαθιά εισπνοή και να την κρατήσει.
2. Τεχνική κράτησης της αναπνοής: Ο ασθενής εκπαιδεύεται από τους τεχνολόγους ακτινολόγους στην τεχνική DIBH. Πιο συγκεκριμένα ο ασθενής καθοδηγείται σχετικά με το βάθος και την διάρκεια της αναπνοής. Συνήθως ζητείται από τους ασθενής να εισπνεύσουν βαθιά και να κρατήσουν την αναπνοή τους για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (περίπου 20-30 sec).
3. Λήψη εικόνων αξονικής τομογραφίας: Αρχικά λαμβάνεται μια σάρωση αξονικής τομογραφίας σε ελεύθερη αναπνοή, η οποία μας βοηθάει στην τοποθέτηση (set-up) του ασθενούς. Έπειτα λαμβάνεται μια δεύτερη αξονική τομογραφία, με τον ασθενή σε αναπνευστική φάση βαθιάς εισπνοής. Είναι σημαντικό για τον ασθενή να ακολουθεί τις οδηγίες που του δίνει ο

τεχνολόγος-ακτινολόγος, καθώς η βαθιά εισπνοή πρέπει να είναι σταθερή χωρίς αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια της σάρωσης.

4. Διαδικασία απόκτησης εικόνων αξονικής τομογραφίας με τη χρήση τεχνικής DIBH: Τοποθετείται ένα tablet πάνω από το κεφάλι του ασθενούς, στο οποίο απεικονίζεται μια λευκή μπάρα, η οποία αναπαριστά την αναπνοή του ασθενούς και ένα πράσινο πλαίσιο, το οποίο αναπαριστά τα όρια μέσα στα οποία ο ασθενής κρατά τη βαθιά εισπνοή σταθερά στο κέντρο του πράσινου πλαισίου. Τα όρια μέσα στο πράσινο πλαίσιο, όπου ο ασθενής κρατά την αναπνοή του, είναι 0,5 cm.



Εικόνα 15: Αξονικός Τομογράφος (CT Simulator) TOSHIBA 16 τομών, του Νοσοκομείου Mediterraneo με τα ακινητοποιητικά και τον εξοπλισμό που πραγματοποιείται μια Αξονική Τομογραφία Βαθιάς Εισπνοής CT-DIBH.

6. ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΣΕ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗ ΦΑΣΗ ΒΑΘΙΑΣ ΕΙΣΠΝΟΗΣ - DEEP INSPIRATION BREATH HOLD - (DIBH)

Η ακτινοθεραπεία στον καρκίνο του μαστού, του πνεύμονα, του παγκρέατος και του ήπατος είναι υψηλής σημασίας και επηρεάζει όργανα ζωτικής σημασίας. Ειδικότερα στην περίπτωση όγκου στο μαστό ή στον πνεύμονα, η δόση στην καρδιά αυξάνει τον κίνδυνο θνησιμότητας και καρδιακής νόσου, ένα φαινόμενο που παρατηρείται πιο συχνά σε ασθενείς με καρκίνο αριστερού μαστού λόγω της θέσης της καρδιάς και σε ασθενείς που λαμβάνουν ακτινοβολία στην περιοχή του θωρακικού τοιχώματος.

Με την πάροδο του χρόνου οι τεχνικές ακτινοθεραπείας έχουν βελτιωθεί με αποτέλεσμα χαμηλότερη έκθεση στην ακτινοβολία της καρδιάς από ότι στο παρελθόν. Επομένως αναμένεται να μειωθεί η συχνότητα εμφάνισης καρδιολογικών προβλημάτων μετά την ακτινοθεραπεία. Μια τεχνική που αναπτύχθηκε για αυτόν τον σκοπό είναι η τεχνική λήψης/θεραπείας σε κατάσταση βαθιάς εισπνοής (Deep Inspiration Breath Hold- DIBH) προκειμένου να μειωθεί ο κίνδυνος καρδιακού θανάτου, καρδιακής τοξικότητας και στεφανιαίων επεισοδίων.

Η αναπνευστική κίνηση είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός ο οποίος επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες που σχετίζονται με την κλινική κατάσταση του ασθενούς (π.χ. πνευμονικό εμφύσημα, υπεζωκοτική συλλογή, προηγούμενη χειρουργική επέμβαση / ακτινοθεραπεία ή χημειοθεραπεία, μυϊκή κόπωση) και παράγοντες που σχετίζονται με τον όγκο (π.χ. θέση του όγκου, εγγύτητα στην καρδιά. (13)

Η DIBH είναι μια μη επεμβατική μέθοδος που αξιοποιεί τη φυσιολογία του αναπνευστικού κύκλου. Δεδομένου ότι η επαγόμενη από την αναπνοή κίνηση οργάνων θεωρείται η μεγαλύτερη κίνηση που μπορούν να έχουν τα όργανα αυτά, η αβεβαιότητα κατά τη διάρκεια της ακτινοθεραπείας όγκων ή βλαβών που επηρεάζονται από την αναπνοή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Η DIBH (μέγιστη εισπνοή) ή η ρηχή ΒΗ (μέτρια εισπνοή) είναι αποτελεσματικές μέθοδοι μετριασμού της αναπνευστικής κίνησης. Και οι δυο έννοιες μειώνουν την κίνηση του όγκου στο ελάχιστο και επιτρέπουν τη μείωση της δόσης στην καρδιά με παρόμοια κάλυψη του

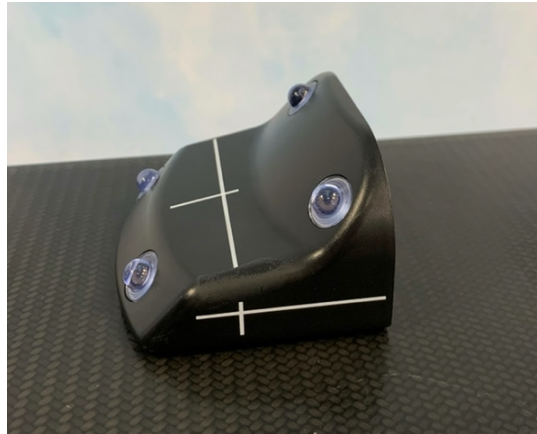
όγκου στόχου. Επιπλέον, η αναπνευστική κίνηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευεργετικά για να αυξήσει την απόσταση μεταξύ του PTV και των OARs. (17) Κατά τη διάρκεια της εισπνοής η κίνηση του διαφράγματος και η διαστολή των πνευμόνων απομακρύνουν την καρδιά από το θωρακικό τοίχωμα, αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ τους, με αποτέλεσμα, μικρότερος σε μέγεθος όγκος της καρδιάς να ακτινοβολείται. Για να εξασφαλιστεί μια αναπαραγωγίσιμη DIBH, πρέπει να πραγματοποιηθεί ένα είδος εκπαίδευσης των ασθενών, πριν την θεραπεία διευκολύνοντας την προσομοίωση και τη θεραπεία της DIBH. Επίσης η οπτική καθοδήγηση φαίνεται απαραίτητη, ώστε οι ασθενείς να μπορούν να ελέγχουν την έκταση της καθοδηγούμενης DIBH. Επειδή η προσέγγιση εκπαίδευσης αλλάζει τη φυσική αναπνευστική συμπεριφορά ορισμένων ασθενών, η εκπαίδευση πρέπει να γίνεται πάντα με την βοήθεια οπτικής καθοδήγησης για να εξασφαλιστεί συνεπής θωρακική εισπνοή (Thoracic Driven T-DIBH) ή κοιλιακή/διαφραγματική εισπνοή (Abdominal Driven A-DIBH) από την προσομοίωση μέχρι ολόκληρη την θεραπεία. Αν και αυτή είναι μια ευρέως μελετημένη και υιοθετημένη μέθοδος, έχει τα μειονεκτήματα της, συμπεριλαμβανομένου του μεγάλου κλινικού φόρτου εργασίας και της πιθανότητας να αλλάζει το μοτίβο της αναπνοής. (24) Κατά την θεραπεία με την τεχνική DIBH ο ασθενής παίρνει βαθιά εισπνοή και κρατάει την αναπνοή του ενώ χορηγείται η ακτινοθεραπεία. Για μια τυπική συνεδρία θεραπείας με τεχνική DIBH ο ασθενής θα πρέπει να κρατάει την αναπνοή του σε βαθιά εισπνοή, όσο αντέχει, καθώς με αυτόν τον τρόπο ο γραμμικός επιταχυντής δίνει ακτινοβολία. Όταν ο ασθενής αναπνέει ελεύθερα τότε ο γραμμικός επιταχυντής σταματάει να δίνει ακτινοβολία. Αυτό βέβαια δεν συμβαίνει σε όλους τους γραμμικούς επιταχυντές (π.χ. ο γραμμικός επιταχυντής Halcyon της εταιρείας Varian, συνεχίζει να δίνει ακτινοβολία αν ο ασθενής αναπνέει κανονικά, οπότε ο τεχνολόγος πρέπει να προσέχει πολύ τον ασθενή και να πατάει το "Beam-Hold" σε μια αντίστοιχη περίπτωση).

6.1. Τεχνικές και Συστήματα Συγκράτησης της Εισπνοής

Οι τεχνικές συγκράτησης της εισπνοής μπορούν να πραγματοποιηθούν με δυο τρόπους:

- εκούσια (voluntary DIBH - vDIBH)
- ακούσια (involuntary - iDIBH)

Για την τεχνική εκούσιας βαθιάς εισπνοής (vDIBH) δεν απαιτείται πρόσθετος εξοπλισμός και μπορεί να εκτελεστεί χρησιμοποιώντας το φωτεινό πεδίο ή την απόσταση μεταξύ των πλευρικών δερματικών σημαδιών ή την οπισθοσπρόσθια μετατόπιση του θωρακικού τοιχώματος όπως αυτή καταγράφεται από ειδικό σύστημα λέιζερ ή άλλες συσκευές για την παρακολούθηση της DIBH. (11) Συχνά χρησιμοποιούνται συστήματα παρακολούθησης μέσω υπολογιστή τα οποία περιλαμβάνουν συσκευές οπτικής επιφανειακής παρακολούθησης για τον έλεγχο της διαστολής των πνευμόνων ή σπειρόμετρα για την παρακολούθηση της ροής του αέρα σε όλη τη διάρκεια του αναπνευστικού κύκλου. Ένα επιπλέον σύστημα για την τεχνική της εκούσιας βαθιάς εισπνοής σε πραγματικό χρόνο είναι το RPM (Real-time Positioning System) της Varian Medical Systems. Βάσει αυτού του συστήματος τοποθετείται μια συσκευή στο στήθος του ασθενή η οποία υπολογίζει την κατακόρυφη (προσθιοπίσθια) μετατόπιση σε όλη την διάρκεια του αναπνευστικού κύκλου δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ένα σύστημα που ανιχνεύει την αναπνοή του ασθενή. Με οδηγό την ανίχνευση της αναπνοής μέσω του (ανακλαστικού) reflecting οργάνου (ανιχνεύει την αναπνοή του ασθενή μέσω της κίνησης στην περιοχή όπου τοποθετείται) που βρίσκεται τοποθετημένο στο στήθος του ασθενή, οικειοθελώς λαμβάνει οδηγίες για το πότε να κρατήσει την αναπνοή (εικόνα 16). Η δέσμη ακτινοβολίας προγραμματίζεται έτσι ώστε να σταματάει όταν το σήμα της αναπνοής πέφτει εκτός ενός προκαθορισμένου ορίου.



Εικόνα 16: Reflecting για ανίχνευση και παρακολούθηση αναπνοής της εταιρείας Varian (Νοσοκομείο Mediterraneo).



Εικόνα 17: Τεχνική DIBH κατά τη διάρκεια ακτινοθεραπείας Αριστερού Μαστού με τον Γραμμικό Επιταχυντή Varian Edge του Νοσοκομείου Mediterraneo.

Αντίθετα, η τεχνική ακούσιας βαθιάς εισπνοής (iDIBH) βασίζεται σε συσκευές ενεργού ελέγχου της αναπνοής (Active Breathing Coordinator - ABC) της εταιρείας Elekta. (9) Αυτές οι συσκευές χρησιμοποιούν ένα σπειρόμετρο (εικόνα 18) το οποίο επιτρέπει την παρακολούθηση της ροής του αέρα σε όλη την διάρκεια του αναπνευστικού κύκλου, οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να τη σταματούν σε προκαθορισμένους όγκους κατωφλίου, με αποτέλεσμα την ακούσια αναπνοή. Σύμφωνα με μελέτες οι ABC συσκευές είναι επαναλήψιμες με χαμηλή

μεταβλητότητα μεταξύ εντός του κλάσματος. Επομένως τα συστήματα αυτά μπορούν να μειώσουν την δόση στα υγιή όργανα. (11,12)



Εικόνα 18: Σπειρόμετρο για παρακολούθηση ροής όγκου αέρα της εταιρείας Elekta. [9]



Εικόνα 19: Τεχνική DIBH κατά τη διάρκεια ακτινοθεραπείας Αριστερού Μαστού με τον Γραμμικό Επιταχυντή της εταιρείας Elekta. [10]

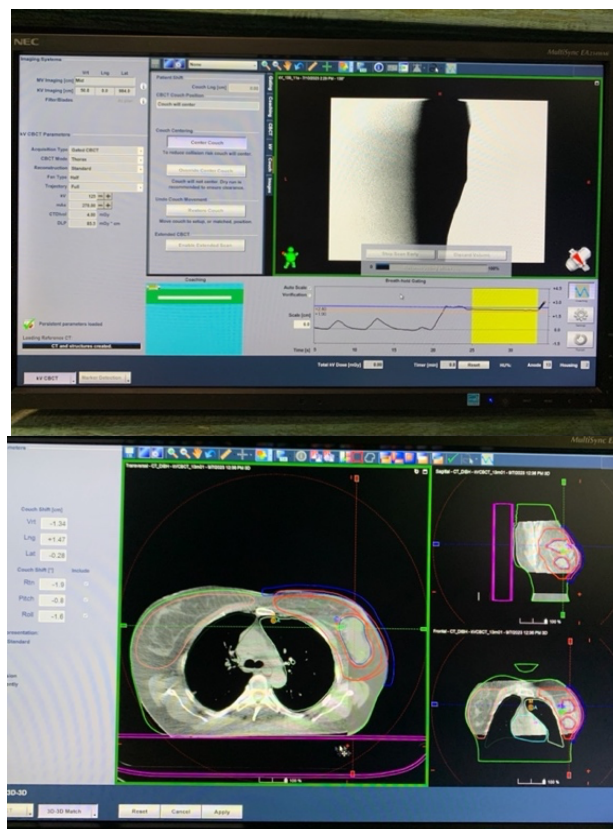
6.2. Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) στην ακτινοθεραπεία μαστού

Την τελευταία δεκαετία έχει εισαχθεί η θεραπεία με βαθιά εισπνοή (DIBH) για τον καρκίνο του μαστού, καθώς προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως η μείωση της δόσης στον υγιή ιστό, η βελτίωση της ποιότητας της εικόνας και η αύξηση της ομοιογένειας της δόσης.

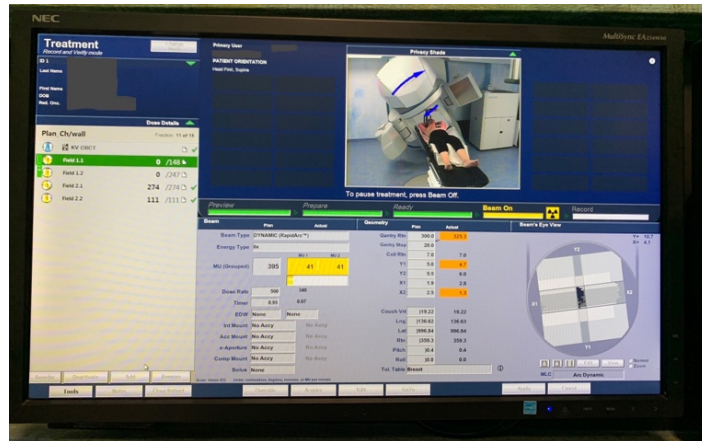
6.2.1. Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) στην ακτινοθεραπεία Αριστερού Μαστού

Η τεχνική ακτινοθεραπείας με βαθιά εισπνοή (DIBH) για καρκίνο αριστερού μαστού μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τον κίνδυνο καρδιοτοξικότητας, καθώς επίσης και να μειώσει τη δόση ακτινοβολίας στην καρδιά, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει διάφορα οφέλη στους πνεύμονες, το στομάχι και το ήπαρ.

Μελέτες έχουν δείξει ότι η τεχνική DIBH σε ακτινοθεραπεία αριστερού μαστού απομακρύνει την καρδιά από το θωρακικό τοίχωμα (θέση του μαστικού αδένα) και μειώνει τη μέση δόση της καρδιάς, ελαχιστοποιώντας τους σχετικούς κινδύνους καρδιακής νόσου. Επίσης, η τεχνική DIBH μπορεί να αυξήσει τον όγκο του πνεύμονα, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 19 και να μειώσει την πυκνότητα του πνευμονικού ιστού, γεγονός που οδηγεί σε μείωση της δόσης ακτινοβολίας στον πνεύμονα, στον αντίθετο μαστό (στην προκειμένη περίπτωση τον δεξιό), στο ήπαρ και στο στομάχι. (29)



Εικόνα 20: Cone-Beam Computed Tomography (CBCT) με την τεχνική Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) σε ακτινοθεραπεία αριστερού μαστού.



Εικόνα 21: Πραγματοποίηση ακτινοθεραπείας σε ασθενή με αριστερό μαστό, με τεχνική Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) στο Γραμμικό Επιταχυντή Edge Radiosurgery System της εταιρείας Varian.

6.2.2. Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) σε ακτινοθεραπεία Δεξιού Μαστού

Η χρήση της τεχνικής DIBH στην ακτινοθεραπεία του καρκίνου του δεξιού μαστού μειώνει αποτελεσματικά τις δόσεις ακτινοβολίας στις καρδιακές κοιλότητες, όπως η αριστερή κοιλία, η δεξιά κοιλία, ο αριστερός κόλπος, ο δεξιός κόλπος, της αριστερής στεφανιαίας αρτηρίας (LAD), των πνευμόνων και του ήπατος. (14) Η μοναδική παρενέργεια σε ασθενή με Ca δεξιού μαστού ο οποίος υποβάλλεται σε τεχνική DIBH είναι ένα ήπιας μορφής ερύθημα στην περιοχή ακτινοβολήσης. Δεν έχει παρατηρηθεί παρενέργεια σε ήπαρ, πνεύμονα ή καρδιά ακόμη και 6 μήνες μετά την ακτινοβολήση.(15)

6.3. Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) ακτινοθεραπεία με χρήση τεχνικής SBRT (Stereotactic Body Radiotherapy)

Στόχος της στερεοτακτικής ακτινοθεραπείας (SBRT) πνεύμονα, ήπατος και παγκρέατος με την τεχνική βαθιάς εισπνοής/εκπνοής (DIBH/DEBH) είναι η σημαντική μείωση του μεγέθους του όγκου-στόχου, οι σημαντικά μειωμένες δόσεις στα κρίσιμα όργανα (OARs) και η βέλτιστη ακινητοποίηση του όγκου στόχου είτε σε βαθιά εισπνοή είτε σε βαθιά εκπνοή ώστε να ελαχιστοποιηθεί η κίνηση του.

6.3.1. Deep Inspiration Breath Hold (DIBH) ακτινοθεραπεία πνεύμονα με χρήση τεχνικής SBRT

Η στερεοτακτική ακτινοθεραπεία (stereotactic body radiotherapy-SBRT) παίζει σημαντικό ρόλο στη θεραπεία του μη χειρουργήσιμου μη μικροκυτταρικού καρκίνου του πνεύμονα (NSCLC) σε αρχικό στάδιο. (30) Ο καρκίνος του πνεύμονα είναι μία από τις κύριες αιτίες θανάτου, τόσο στους άνδρες όσο και στις γυναίκες παγκοσμίως. (18) Τα κρίσιμα υγιή όργανα (OARs) που πρέπει να προστατευτούν κατά την ακτινοθεραπεία Ca πνεύμονα είναι η καρδιά, το θωρακικό τοίχωμα, ο αντίθετος πνεύμονας από την υποκείμενη βλάβη και το στομάχι (όταν ο όγκος στόχος βρίσκεται στον αριστερό κάτω λοβό).

Ο όγκος των πνευμόνων σε βαθιά εισπνοή (DIBH) σε σύγκριση με αυτόν σε ελεύθερη αναπνοή (Free Breathing - FB) αυξάνεται κατά 42%. Αυτή η αύξηση του όγκου είναι παρόμοια με εκείνη σε ασθενείς με καρκίνο του μαστού, οι οποίοι γενικά θεωρείται ότι έχουν ανώτερη πνευμονική χωρητικότητα, δεδομένου ότι η νόσος τους δεν επηρεάζει τους πνεύμονες.

Η τεχνική της βαθιάς εισπνοής (DIBH) οδήγησε σε σημαντική μείωση της δόσης στο θωρακικό τοίχωμα σε σύγκριση με την ελεύθερη αναπνοή (FB). Ο πόνος στο θωρακικό τοίχωμα και τα κατάγματα των πλευρών σχετίζονται με την δόση, την τοξικότητα και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην στερεοτακτική ακτινοθεραπεία (SBRT). Ωστόσο σε βλάβες σε στενή σχέση με το θωρακικό τοίχωμα, έχει διαπιστωθεί σημαντική μείωση κατά 21% στην συνολική δόση στο θωρακικό τοίχωμα με την χρήση βαθιάς εισπνοής (DIBH), σε σύγκριση με την ελεύθερη αναπνοή (FB) καθώς η βλάβη διαχωρίζεται από το θωρακικό τοίχωμα. (18)

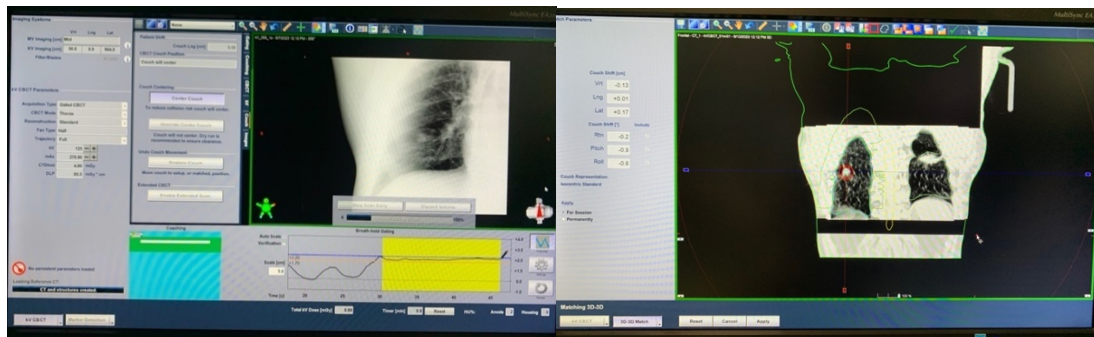
Η αύξηση του όγκου των πνευμόνων μειώνει την πίεση στο εσωτερικό τους, επομένως η μείωση του μεγέθους του όγκου-στόχου μπορεί να οφείλεται στην απουσία τεχνικών σφαλμάτων κίνησης στις εικόνες αξονικής τομογραφίας DIBH. Επίσης, έχει αποδειχθεί ότι η στερεοτακτική ακτινοθεραπεία (SBRT) με την τεχνική της βαθιάς εισπνοής (DIBH) μπορεί να μειώσει την πιθανότητα παρενεργιών όπως η πνευμονίτιδα και η ίνωση. (18)

Στην περίπτωση όπου ο όγκος-στόχος βρίσκεται στον αριστερό κάτω λοβό του πνεύμονα, το στομάχι πρέπει να προστατευτεί επειδή βρίσκεται κοντά στον όγκο-στόχο, για να μειωθεί η τοξικότητά του λόγω ακτινοβόλησης. Η νηστεία πριν από την

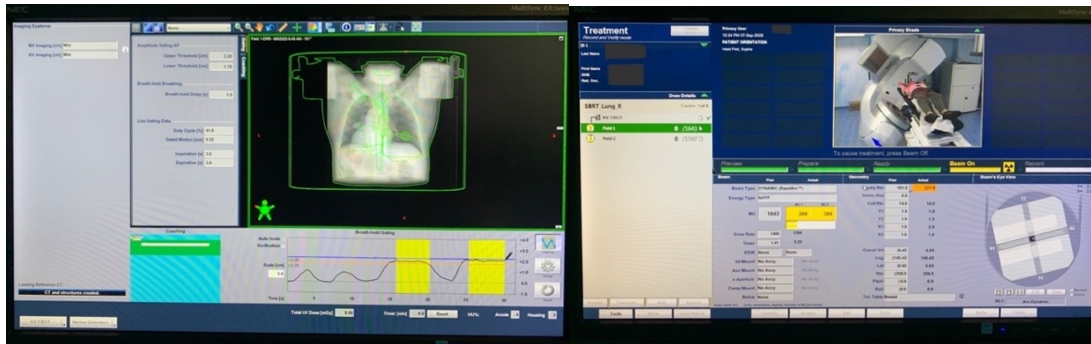
Θεραπεία μπορεί να έχει θετική επίδραση στις βλάβες του αριστερού κάτω λοβού του πνεύμονα, καθώς το στομάχι είναι μικρότερο και λιγότερο ενεργό. (31)



Εικόνα 22: Τεχνική DIBH κατά τη διάρκεια ακτινοθεραπείας Ca πνεύμονα με τεχνική SBRT με Γραμμικό Επιταχυντή Edge Radiosurgery System της εταιρείας Varian του Νοσοκομείου Mediterraneo.



Εικόνα 23: CBCT με τεχνική βαθιάς εισπνοής (DIBH) σε ασθενή με Ca πνεύμονα με τεχνική SBRT (Stereotactic Body Radiation Therapy) με Γραμμικό Επιταχυντή Edge Radiosurgery System της εταιρείας Varian.



Εικόνα 24: Ακτινοθεραπεία με τεχνική βαθιάς εισπνοής (DIBH) σε ασθενή με Ca πνεύμονα με τεχνική SBRT (Stereotactic Body Radiation Therapy) με Γραμμικό Επιταχυντή Edge Radiosurgery System της εταιρείας Varian.

6.3.2. Deep Inspiration/Expiration Breath Hold (DIBH/DEBH) ακτινοθεραπεία ήπατος με χρήση τεχνικής SBRT

Η ακτινοθεραπεία ήπατος είναι μια μη επεμβατική θεραπευτική επιλογή για ασθενείς που δεν μπορούν να χειρουργηθούν ή έχουν αντενδείξεις για χημειοθεραπεία. Η εγγύτητα του ήπατος στο διάφραγμα οδηγεί σε ανεπιθύμητη αναπνευστική κίνηση. Ως εκ τούτου, το SBRT ήπατος χορηγείται συνήθως χρησιμοποιώντας είτε κράτηση της αναπνοής σε βαθιά εισπνοή (DIBH) είτε κράτηση της αναπνοής σε βαθιά εκπνοή (DEBH). Εκτός από το DIBH/DEBH, η κίνηση του όγκου μπορεί επίσης να αντιμετωπιστεί χρησιμοποιώντας gating, όργανο συμπίεσης κοιλιάς (abdominal compressor) ή παρακολούθηση κίνησης (motion tracking).

Η χορήγηση της θεραπείας σε ελεύθερη αναπνοή παρατείνει σημαντικά τη θεραπεία. Το όργανο συμπίεσης κοιλιάς μειώνει την κίνηση, αλλά είναι λιγότερο αποτελεσματικό σε σχέση με την τεχνική συγκράτησης της αναπνοής. (29)

Οι τεχνικές συγκράτησης της αναπνοής διατηρούν καλή αποτελεσματικότητα χορήγησης θεραπείας, ενώ ελαχιστοποιούν την ηπατική κίνηση. Ωστόσο, δεν είναι όλοι οι ασθενείς "ικανοί" για αναπαραγωγίσιμη τεχνική με κράτημα της αναπνοής και οι παραλλαγές μπορεί να οδηγήσουν σε σφάλματα στην περιοχή της θεραπείας, συμπεριλαμβανομένης του υποδοσιασμού του όγκου - στόχου. Η απεικόνιση πριν από τη θεραπεία είναι απαραίτητη για την διασφάλιση της σωστής θέσης θεραπείας. Έχει ερευνηθεί η εξατομικευμένη προσέγγιση SBRT ήπατος, λαμβάνοντας υπόψη τα όρια του PTV (ελάχιστο: 5 mm) με βάση την επαναληψιμότητα της αναπνοής και την

κίνηση του, επιδιώκοντας έτσι να διατηρήσουν τον ίδιο κίνδυνο ηπατικής νόσου που προκαλείται από την ακτινοβολία. Μελέτες αναφέρουν ότι η κίνηση του όγκου κατά την ελεύθερη αναπνοή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες για τον ασθενή, συμπεριλαμβανομένης της θέσης του όγκου, της κίρρωσης και της προηγούμενης χειρουργικής επέμβασης. (29)

Σε σύγκριση με το DIBH, το DEBH (Deep Expiration Breath Hold) για SBRT ήπατος οδηγεί σε μικρότερες τυπικές αποκλίσεις (Standard Deviation - SD) τυχαίων και συστηματικών σφαλμάτων και μικρότερες εκτιμήσεις περιθωρίου PTV σύμφωνα με την ανάλυση των εικόνων αξονικής τομογραφίας κωνικής δέσμης (CBCT) πριν και μετά τη θεραπεία.

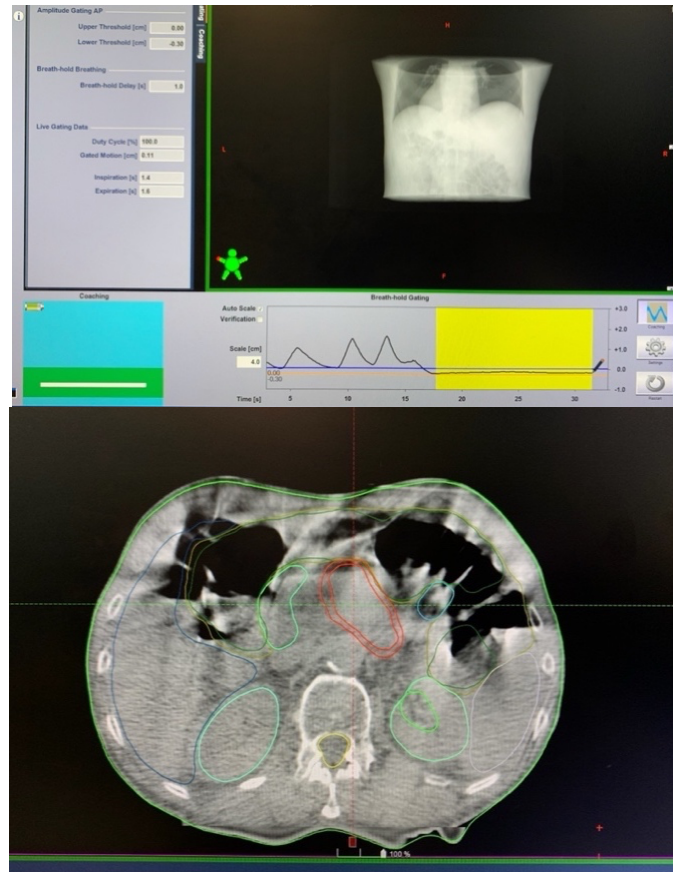
Οι εκτιμήσεις περιθωρίου PTV για προσθιοπίσθια λήψη (Anterior – Posterior, AP), μέσα - έξω (Superior – Inferior, SI) και δεξιά - αριστερά (Right – Left, RL) είναι μικρότερη για DEBH, σε σχέση με την αντίστοιχη θεραπεία ήπατος με DIBH.

Το DEBH είναι προφανώς πιο αναπαραγωγίσιμο και επομένως συνιστάται έναντι του DIBH για SBRT ήπατος. (19)

6.3.3. Deep Expiration Breath Hold (DEBH) ακτινοθεραπεία παγκρέατος με χρήση τεχνικής SBRT

Η συμβατική ακτινοθεραπεία για τον τοπικά προχωρημένο ανεγχείρητο καρκίνο του παγκρέατος δεν μπορεί να βελτιώσει αποτελεσματικά τη μακροχρόνια επιβίωση ενώ η στερεοτακτική ακτινοθεραπεία (SBRT) έχει δείξει τοπικό έλεγχο και αποδεκτό ποσοστό ανεπιθύμητων ενεργιών.

Η τεχνική DEBH σε ασθενείς με Ca παγκρέατος είναι απαραίτητη για την αποφυγή σοβαρών επιπλοκών. Το πάγκρεας βρίσκεται κοντά σε κάποια κρίσιμα όργανα όπως ο δωδεκαδάκτυλος, το στομάχι, οι νεφροί και ο νωτιαίος μυελός. Ωστόσο, το πάγκρεας υφίσταται σημαντική κίνηση που προκαλείται από την αναπνοή, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε υποδοσιασμό, σε κάποια τμήματα του όγκου και σε υπερδοσιασμό στα OARs (Organs at risk), όπου οι δόσεις υπερβαίνουν σημαντικά την ανοχή των γύρω φυσιολογικών ιστών. (16) Επομένως, με την τεχνική της βαθιάς εκπνοής πραγματοποιείται ελαχιστοποίηση της κίνησης του παγκρέατος και του όγκου-στόχου όπως φαίνεται στην εικόνα 25.



Εικόνα 25: CBCT με τεχνική βαθιάς εκπνοής (DEBH) σε ασθενή με Ca παγκρέατος με τεχνική SBRT (Stereotactic Body Radiation Therapy) με Γραμμικό Επιταχυντή Edge Radiosurgery System της εταιρείας Varian (Νοσοκομείο Mediterraneo).

7. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ - SURFACE GUIDED RADIATION THERAPY (SGRT)

Η επιφανειακά καθοδηγούμενη ακτινοθεραπεία (SGRT) στηρίζει την χρήση της στην οπτική σάρωση του περιγράμματος του ασθενούς για την τοποθέτηση και την παρακολούθηση της κίνησης του χωρίς τη χρήση ιοντίζουσας ακτινοβολίας. Η τοποθέτηση του ασθενούς γίνεται με βάση τους 6 βαθμούς ελευθερίας του κρεβατιού θεραπείας (couch). Η επιφανειακά καθοδηγούμενη ακτινοθεραπεία (SGRT) έχει υιοθετηθεί ευρέως στην ακτινοθεραπεία τα τελευταία χρόνια χωρίς ανησυχία για τυχόν δόση ακτινοβολίας και δυνατότητα μειωμένων χρόνων ρύθμισης της θέσης του ασθενούς (setup), τα οποία είναι τα κύρια πλεονεκτήματα της τεχνικής

αυτής. Μπορεί να αντικαταστήσει τα τατουάζ που γίνονται στο δέρμα του ασθενούς, αλλά δεν μπορεί να αντικαταστήσει την αξονική ή μαγνητική τομογραφία (σε πιο προηγμένα συστήματα γραμμικών επιταχυντών) για τον εντοπισμό του όγκου. Σκοπός της τεχνικής είναι να βελτιώσει την ακρίβεια της χορηγούμενης ακτινοθεραπείας.(32) Γενικά, τα συστήματα SGRT χρησιμοποιούν μια ή περισσότερες υπέρυθρες κάμερες για την καταγραφή της τρισδιάστατης επιφάνειας των ασθενών σε πραγματικό χρόνο. Υπάρχουν τρία εμπορικά διαθέσιμα συστήματα: το Identify της εταιρείας Varian, το AlignRT της εταιρείας VisionRT και το Catalyst HD της εταιρείας C-RAD.



Εικόνα 26: Υπέρυθρες κάμερες του συστήματος SGRT, οι AlignRT της εταιρείας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).



Εικόνα 27: Κεντρική και πλάγιες υπέρυθρες κάμερες του συστήματος SGRT, οι AlignRT της εταιρείας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).

Σε κάθε εφαρμογή της τεχνικής SGRT υπάρχουν ορισμένα βήματα που πραγματοποιούνται για την υλοποίηση της τεχνικής. Η επιφάνεια αναφοράς του ασθενούς παράγεται με δυο τρόπους:

- 1) χρησιμοποιώντας το ίδιο το σύστημα SGRT στον αξονικό τομογράφο εξομοίωσης με ειδικό ενσωματωμένο εξοπλισμό,
- 2) εξάγοντας το εξωτερικό περίγραμμα του ασθενούς μέσω μιας σειράς δεδομένων (DICOM – RT Structure) που περιλαμβάνουν το σώμα του ασθενούς (body), όπως αυτό έχει σχεδιαστεί από το σύστημα σχεδιασμού θεραπείας (Treatment Planning System – TPS) και πληροφορίες σχετικά με τις συντεταγμένες του ισοκέντρου (DICOM RT – Plan).(26)

Μέσω της απόκλισης μεταξύ της επιφάνειας αναφοράς και της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI), το SGRT παρέχει πληροφορίες για τις απαιτούμενες μετακινήσεις και περιστροφές του couch. Εάν έχει γίνει συγκεκριμένη διαμόρφωση του συστήματος SGRT μπορεί να στείλει της πληροφορίες στο σύστημα επιτρέποντας την αυτόματη μετακίνηση του couch. Η συνεχής παρακολούθηση της κίνησης του ασθενούς μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά την διάρκεια όλων των συνεδριών της θεραπείας, βελτιώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ασφάλεια και ταυτόχρονα έχοντας μεγαλύτερη ακρίβεια και επαναληψιμότητα. Εάν ο ασθενής βγει εκτός από συγκεκριμένα όρια, το σύστημα μπορεί να διακόψει οποιαδήποτε στιγμή τη θεραπεία, εάν αυτή η λειτουργία είναι διαθέσιμη και ενεργοποιημένη ή μπορεί να σταματήσει η παραγωγή δέσμης ακτινοβολίας χειροκίνητα αν ο τεχνολόγος ακτινολόγος αντιληφθεί ότι κάτι δεν πάει καλά. (26)

Ωστόσο, η τεχνική αυτή έχει κάποιους περιορισμούς:

- 1) το SGRT λειτουργεί μόνο όταν η επιφάνεια του δέρματος είναι ορατή από το σύστημα, επομένως η επιλογή και η τεχνική της ακινητοποίησης δεν πρέπει να αποκρύπτει πολύ μεγάλο μέρος της επιφάνειας του σώματος του ασθενούς.
- 2) το SGRT δεν πρέπει να παρεμποδίζεται από το gantry, τα συστήματα απεικόνισης (π.χ. CBCT) ή άλλα αντικείμενα που ενδέχεται να παρευρίσκονται στην αίθουσα θεραπείας.
- 3) η σχέση μεταξύ της εξωτερικής επιφάνειας του σώματος και της εσωτερικής ανατομίας του ασθενούς δεν είναι πάντα επαρκής για την επίτευξη του στόχου. (21)

Η χρήση του SGRT βασίζεται στην παραδοχή/θεώρηση πως η σχέση μεταξύ εξωτερικής επιφάνειας και εσωτερικής ανατομίας είναι σταθερή.

7.1. Σχεδιασμός περιοχής ενδιαφέροντος (Region of Interest – ROI)

Για κάθε περιοχή θεραπείας σχεδιάζεται ένα ξεχωριστό ROI με την βοήθεια του οποίου τοποθετείται ο ασθενής και αναγνωρίζει το σύστημα SGRT την επιφάνεια του δέρματος. Επιπλέον, το ROI πρέπει να δημιουργείται με τέτοιο τρόπο ώστε να ανταποκρίνεται στις ατομικές και ανατομικές ανάγκες κάθε ασθενούς, εξασφαλίζοντας επαρκή κάλυψη για την σωστή τοποθέτηση του ασθενούς. (27)

Το ROI σχεδιάζεται ανάλογα με την εκάστοτε περιοχή, για το οποίο έχουν δημιουργηθεί οι παρακάτω κανόνες:

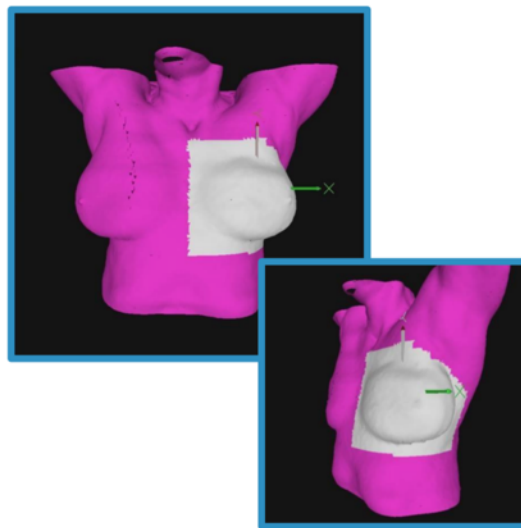
Κανόνες ROI:

- Να περιλαμβάνεται το ισόκεντρο (εάν είναι δυνατόν) και η γύρω περιοχή
- Να περιλαμβάνεται μόνο η επιφάνεια του δέρματος αποκλείοντας οτιδήποτε δεν έχει να κάνει με τον ασθενή. (π.χ. συσκευή ακινητοποίησης, ρόμπα – ρούχα ασθενούς, κρεβάτι θεραπείας)
- Να περιλαμβάνεται μια σταθερή επιφάνεια στο τοπόγραμμα του ασθενούς (π.χ. πλευρά).
- Να λαμβάνεται υπόψη η τεχνική θεραπείας καθώς και πιθανές αποκλίσεις της κάμερας κατά τη διάρκεια της θεραπείας.
- Να δημιουργείται ένα ROI κατάλληλου μεγέθους. Εάν το μέγεθος του ROI δεν επαρκεί για την σωστή παρακολούθηση της επιφάνειας του δέρματος από το σύστημα, το ROI χρειάζεται να επεξεργαστεί και να ξανά δημιουργηθεί. (27)

Παρακάτω αναφέρονται κάποια παραδείγματα τα οποία απεικονίζουν διάφορες περιοχές ενδιαφέροντος.

7.1.1. Μαστός/DIBH

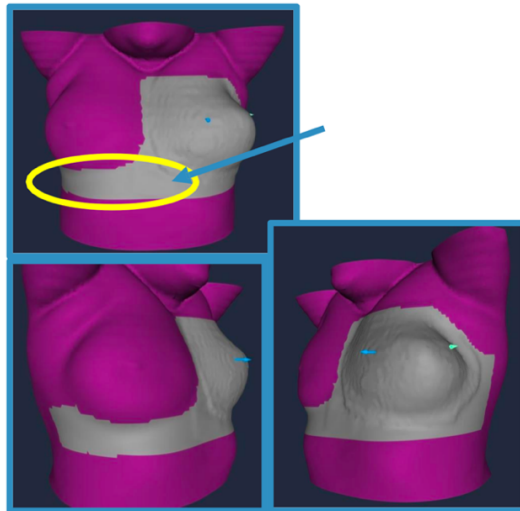
Σχεδιάζεται ο μαστός και μέρος του θωρακικού τοιχώματος, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 28 (τα βέλη απεικονίζουν που βρίσκεται το ισόκεντρο). Επιπλέον, είναι σημαντικό να σχεδιαστεί μια σταθερή επιφάνεια όπως είναι το μέσο του στέρνου, οι άνω πλευρές και η πλάγια όψη του μαστού που εκτείνεται στο μεσοστεφανιαίο επίπεδο. Επιπλέον, το παραπάνω ROI είναι κατάλληλο για θεραπεία με τεχνική κράτησης βαθιάς εισπνοής (DIBH). Όσον αφορά στο DIBH, τα ROI που σχεδιάζονται είναι δυο: 1) σε ελεύθερη αναπνοή με το οποίο γίνεται η τοποθέτηση (setup) και 2) σε βαθιά εισπνοή για την πραγματοποίηση της θεραπείας (treat).



Εικόνα 28: Σχεδιασμός ROI σε Ca αριστερού μαστού

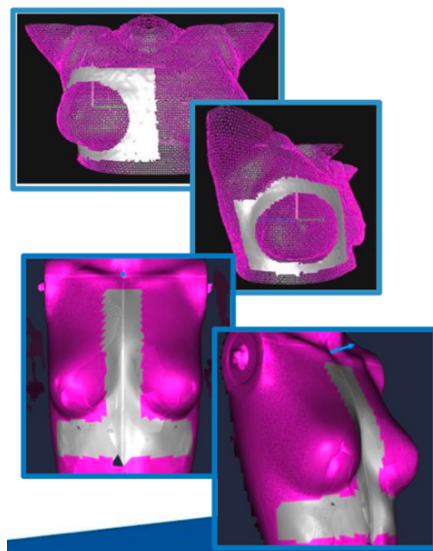
(Όμοιος σχεδιασμός σε Ca δεξιού μαστού), της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).

Σχεδιάζεται μια έξτρα λεπτή επιφάνεια στην άλλη πλευρά κάτω από τον υγιή μαστό και στην πλάγια πλευρά στο μεσοστεφανιαίο επίπεδο, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 29. Είναι χρήσιμος ο συγκεκριμένος σχεδιασμός ROI εάν υπάρχει παρεμπόδιση των καμερών κατά την διάρκεια της θεραπείας και τα μέρη του ROI καλύπτονται από το βραχίονα (gantry) ή εάν ο ασθενής αντιμετωπίζει καθημερινά προβλήματα τοποθέτησης.



Εικόνα 29: Σχεδιασμός ROI σε Ca αριστερού μαστού σε ιδιαίτερες περιπτώσεις (Όμοιος σχεδιασμός σε Ca δεξιού μαστού), της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).

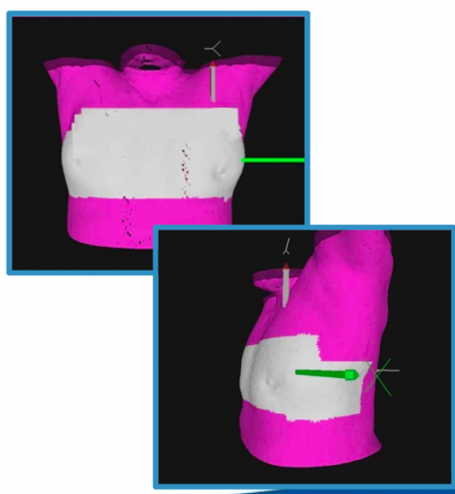
Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στον σχεδιασμό τον ROI σε περιπτώσεις που ο μαστός είναι μεγάλος, έτσι ώστε να γίνει η ευθυγράμμιση με σταθερά σημεία, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 30.



Εικόνα 30: Σχεδιασμός ROI σε Ca δεξιού μαστού όταν ο μαστός είναι μεγάλος (Όμοιος σχεδιασμός σε Ca αριστερού μαστού), της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).

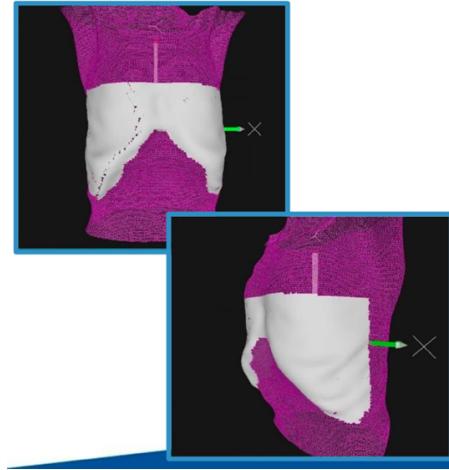
7.1.2. IMRT/SBRT

Σχεδιάζεται μια σταθερή και ενιαία επιφάνεια η οποία περιλαμβάνει τον μαστό και τη πλάγια πλευρά του δεξιού και αριστερού μαστού προς το μεσοστεφανιαίο επίπεδο, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 31. Αυτό γίνεται για να εξασφαλιστεί ότι οι κάμερες μπορούν να αντιληφθούν τον ασθενή ανεξάρτητα σε ποιο σημείο βρίσκεται ο βραχίονας (gantry) σε θεραπείες με την τεχνική εξωτερικής ακτινοθεραπείας IMRT.



Εικόνα 31: Σχεδιασμός ROI με IMRT τεχνική εξωτερικής ακτινοθεραπείας, της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).

Για την θεραπεία με την τεχνική SBRT σε πνεύμονα, ήπαρ και όργανα της κοιλιάς σχεδιάζεται ROI, με τη μορφή που απεικονίζεται στην εικόνα 32, το οποίο περιέχει το στέρνο και τις πλευρές κάθετα προς το μεσοστεφανιαίο επίπεδο.



Εικόνα 32: Σχεδιασμός ROI σε Ca ήπαρ, πνεύμονα και όργανα άνω κοιλιάς, της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).

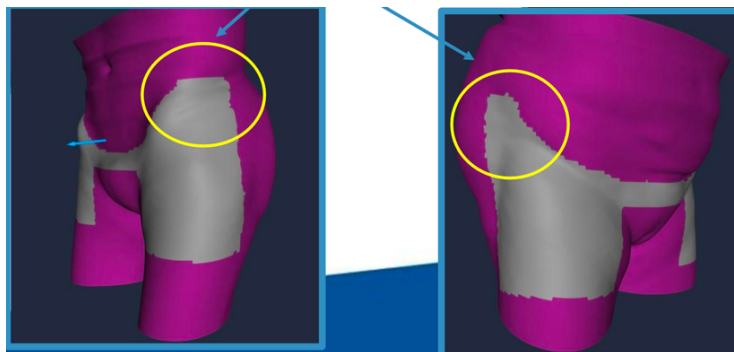
7.1.3. Πύελος

Για την τοποθέτηση της περιοχής της πυέλου, το ROI που σχεδιάζεται είναι το πρόσθιο τμήμα του γοφού, σε συνδυασμό με το πλάγιο τμήμα των γοφών στο μεσοστεφανιαίο επίπεδο, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 33. Σε ιδιαίτερες περιπτώσεις όπου ο κατώτερος κοιλιακός ιστός δεν είναι σταθερός ή υπάρχουν δερματικές αναδιπλώσεις της κοιλιάς, αφαιρείται το ROI από το κοιλιακό τμήμα για την σωστή και επαναλήψιμη τοποθέτηση του ασθενούς όπως απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 33: Σχεδιασμός ROI σε Ca προστάτη, ορθού, πυέλου γενικότερα, της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo)

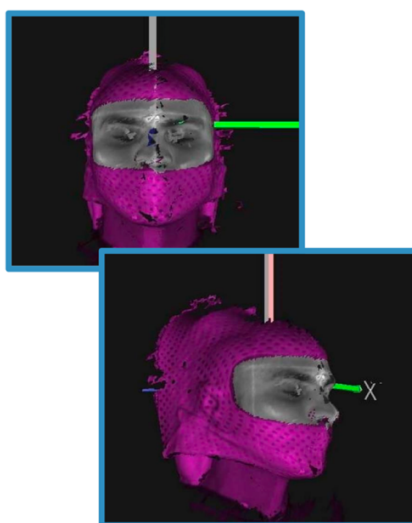
Ο σχεδιασμός μεγαλύτερης επιφάνειας ROI στις πλάγιες πλευρές του γοφού είναι χρήσιμος όταν το τοπόγραμμα του ασθενούς είναι περιορισμένο και δεν έχει σταθερά σημεία, απεικονίζεται στην εικόνα 34.



Εικόνα 34: Σχεδιασμός ROI σε Ca προστάτη, ορθού, πυέλου γενικότερα, της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).

7.1.4. SRS Brain

Σχεδιάζεται η επιφάνεια του δέρματος που δεν είναι καλυμμένη με την μάσκα, δηλαδή τα φρύδια, η μύτη, το μέτωπο και τα μάγουλα, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 35. Επίσης δεν σχεδιάζεται μέρος της μάσκας και εξαιρούνται τα ρουθούνια γιατί μπορεί να ανιχνευθεί κίνηση από την περιοχή αυτή λόγω της αναπνοής.



Εικόνα 35: Σχεδιασμός ROI σε ενδοκρανιακούς όγκους (SRS), της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).

7.2. Τοποθέτηση ασθενούς με χρήση της τεχνικής SGRT

7.2.1. Τοποθέτηση ασθενούς με Ca μαστού

Όσον αφορά στην τοποθέτηση ασθενών με καρκίνο του μαστού, μελέτες που συγκρίνουν την ευθυγράμμιση με λέιζερ με την τεχνική SGRT, αναφέρουν μείωση των σφαλμάτων τοποθέτησης για την ευθυγράμμιση του δέρματος και του κλιπ κατά περίπου 40% κατά μέσο όρο για όλες τις μελέτες μικρότερες από 4mm, επαληθευμένες με CBCT, portal imaging ή kV imaging. (17) Έκτος από την ακριβή τοποθέτηση του ισόκεντρου θεραπείας η SGRT τεχνική παρέχει καθοδήγηση για τη διόρθωση της στάσης του ασθενούς π.χ. της θέσης του πηγουνιού και του χεριού/ώμου. Όσον αφορά στη στάση του χεριού έχει αποδειχθεί ότι η διόρθωση του βελτιώνει τη θέση του μαστού στην SGRT τεχνική. Υπάρχουν και ορισμένοι παράγοντες οι οποίοι μπορεί να επηρεάζουν την ακρίβεια στην τοποθέτηση του ασθενούς με SGRT όπως η κίνηση του ασθενούς, η σκίαση της επιφάνειας (surface shadowing), η παρουσία πολύ επίπεδων επιφανειών και οι ανατομικές αλλαγές κατά τη διάρκεια της θεραπείας.

7.2.2. Τοποθέτηση ασθενούς με Ca πυέλου/κοιλιάς/Κεφαλής & Τραχήλου

Δεν υπάρχει κλινική συσχέτιση μεταξύ της κίνησης εσωτερικών δομών και επιφάνειας του ασθενούς. Παρατηρούνται μεγάλες μετατοπίσεις έως περίπου 3cm για τους στόχους στην κοιλιακή χώρα και έως 2cm για τη λεκάνη και τα κάτω άκρα. Ωστόσο, η απεικόνιση επιφάνειας πετυχαίνει τουλάχιστον την ίδια ακρίβεια με την ευθυγράμμιση με λέιζερ το οποίο θεωρείται πολύτιμο εργαλείο για την αρχική ρύθμιση του ασθενούς και ως συμπλήρωμα των συμβατικών μεθόδων απεικόνισης. Η έλλειψη συσχέτισης μεταξύ της κίνησης της επιφάνειας και της εσωτερικής δομής δεν αποτελεί επιχείρημα κατά της χρήσης του SGRT, δεδομένου ότι το SGRT παρέχει συμπληρωματικές πληροφορίες με την καθοδήγηση εικόνας. Στο SGRT της πυέλου, υπάρχει καλή συμφωνία με το CBCT με αποκλεισμό ανατομιών όπως το στομάχι από την εικόνα αναφοράς. (17)

7.2.3. Τοποθέτηση ασθενούς με Ενδοκρανιακούς όγκους (Whole Brain Radiation Therapy – WBRT, SRS)

Παραδοσιακά, το WBRT ήταν η προτεινόμενη θεραπευτική επιλογή για ασθενείς με περισσότερες από τρεις ενδοκρανιακές εγκεφαλικές μεταστάσεις αλλά το WBRT μπορεί να προκαλέσει μακροχρόνιες ανεπιθύμητες ενέργειες. Αντίθετα, για περιορισμένο αριθμό μεταστάσεων, η στερεοτακτική ακτινοχειρουργική (SRS) είναι η πρώτη επιλογή στις περισσότερες περιπτώσεις.

Πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν καταστήσει την SRS τεχνική μια πιο φιλική επιλογή θεραπείας για τον ασθενή, επιτρέποντας ακριβή τοποθέτηση του ασθενούς και μικρότερους χρόνους θεραπείας. Δεδομένου ότι το SRS χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο είναι σημαντικό να εκτελείται με την υψηλότερη δυνατή ποιότητα για την αποφυγή επιπλοκών όπως η ραδιονέκρωση (νέκρωση κυττάρων λόγω υψηλής ακτινοβολίας). Ένα σαφές πλεονέκτημα των συστημάτων SGRT είναι η έλλειψη δόσης ακτινοβολίας, με όλη την διαδικασία να αυξάνει ελάχιστα μόνο τον συνολικό χρόνο θεραπείας. Η βέλτιστη χρήση των συστημάτων SGRT σε ασθενείς με όγκους εγκεφάλου απαιτεί τη χρήση μάσκας ανοιχτού προσώπου. (17)

8. DEEP INSPIRATION BREATH HOLD (DIBH) ΜΕ ΧΡΗΣΗ SURFACE GUIDED RADIATION THERAPY (SGRT) ΣΤΗΝ ΚΛΙΝΙΚΗ ΠΡΑΞΗ

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στην ακτινοθεραπεία έχει να κάνει με τη σωστή τοποθέτηση του ασθενούς. Για την εξάλειψη του προβλήματος αυτού, η επιφανειακά καθοδηγούμενη ακτινοθεραπεία (SGRT) έχει αναπτυχθεί και εφαρμοστεί στην κλινική πράξη σε συνδυασμό με τη θεραπεία με την τεχνική DIBH.

Η SGRT (Surface Guided Radiation Therapy) και η DIBH (Deep Inspiration Breath-Hold) είναι δύο τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην ακτινοθεραπεία για τη θεραπεία του καρκίνου ωστόσο έχουν διαφορετικούς σκοπούς και εφαρμογές.

Η τεχνική SGRT βοηθά στη διασφάλιση ακριβούς τοποθέτησης του ασθενούς κατά την διάρκεια της ακτινοθεραπείας παρακολουθώντας την επιφάνεια του σώματος του ασθενούς. Σε αντίθεση με την SGRT, η DIBH είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται για την προστασία κρίσιμων οργάνων (π.χ. καρδιά).

Η ομοιόμορφη συνδυαστική διαδικασία SGRT για θεραπεία με DIBH έχει βελτιώσει σημαντικά τις κλινικές λειτουργίες, με αποκορύφωμα τη σημαντική μείωση του χρόνου θεραπείας. (24)

Για SGRT μαστού η περιοχή ενδιαφέροντος (Region of Interest – ROI) που ορίζεται για την παρακολούθηση της κίνησης πρέπει να περιλαμβάνει το στήθος και τη γύρω περιοχή, η οποία αποτελείται από την επιφάνεια του θωρακικού τοιχώματος που χρησιμοποιείται για DIBH, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 36.

Επιπλέον, η τεχνική SGRT χρησιμοποιείται για να ευθυγραμμιστούν σωστά οι ώμοι του ασθενούς από την πλευρά της περιοχής της βλάβης, για ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια στην τοποθέτηση, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 37.

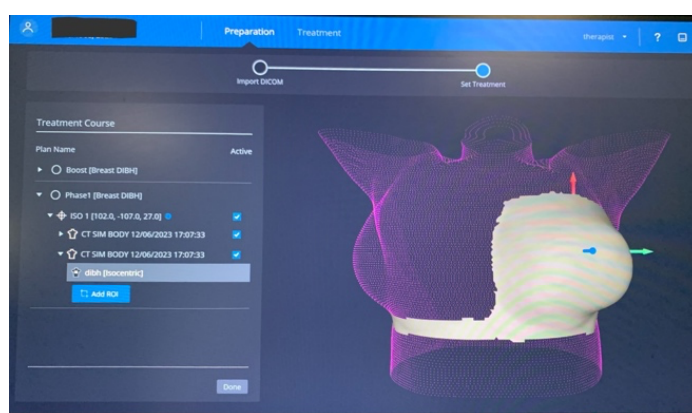
Ο ασθενής πρέπει να αναπνέει σε ελεύθερη αναπνοή ελαχιστοποιώντας την κίνηση του μαστού και κάνοντας τη θέση των μασχαλαίων και υπερκλείδιων λεμφαδένων επαναλήψιμη.

Με την τεχνική SGRT εξαιρείται η ανάγκη για χρήση tattoos για την ευθυγράμμιση του ασθενούς καθώς και η ανάγκη χρήσης λέιζερ δωματίου (εικόνα 39).

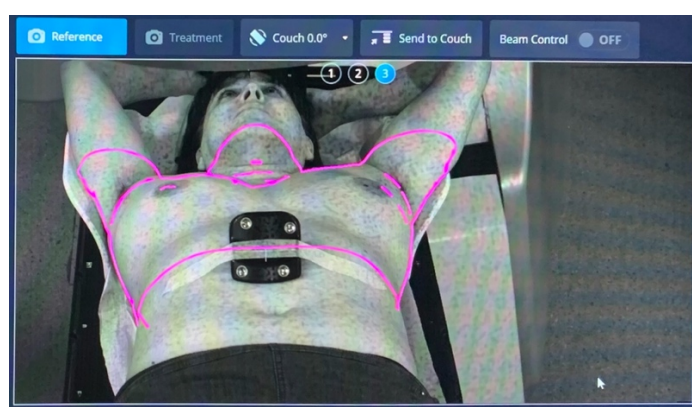
Το κράτημα της βαθιάς εισπνοής που καθοδηγείται από τον θώρακα (Thoracic Driven T – DIBH) και το κράτημα της βαθιάς εισπνοής που καθοδηγείται από την κοιλιά (Abdominal Driven A – DIBH) έχουν πρόσφατα μελετηθεί από τους κλινικούς γιατρούς

και έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι παρέχουν σημαντική μείωση της δόσης στην καρδιά. Όταν ένα ROI σχεδιάζεται στην επιφάνεια του θώρακα, σημαίνει ότι οι ασθενείς παίρνουν θωρακική εισπνοή (T-DIBH) κυρίως χρησιμοποιώντας τους μεσοπράκτιους μύες για επικέντρωση. Αυτό το ROI ενδέχεται να μην ισχύει για την χρήση της κοιλιακής/διαφραγματικής εισπνοής (A-DIBH) καθώς δεν καλύπτει την κοιλιακή επιφάνεια. (24)

Όσον αφορά στις κλινικές εφαρμογές, η τεχνική SGRT για το μαστό είναι η πιο συχνά εφαρμόσιμη, όπως επιβεβαιώνεται από τον αριθμό των δημοσιεύσεων. (25)



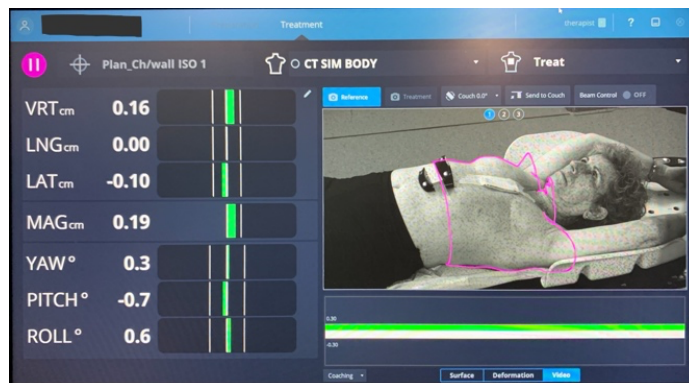
Εικόνα 36: Σχεδιασμός απαιτούμενου ROI (Region of Interest) για ακτινοθεραπεία αριστερού μαστού, με χρήση τεχνικής SGRT, της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).



Εικόνα 37: Τοποθέτηση ασθενούς με χρήση SGRT, για ευθυγράμμιση του ώμου και του μασχαλιαίου μυ, της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).



Εικόνα 38: Εικόνα ανίχνευσης επιφάνειας απαιτούμενου ROI για ακτινοθεραπεία αριστερού μαστού, με χρήση υπέρυθρων της τεχνικής SGRT, της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo).



Εικόνα 39: Τοποθέτηση ασθενούς με χρήση SGRT χωρίς τη βοήθεια tattoo markers, της εταιρίας VisionRT (Νοσοκομείο Mediterraneo)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά σε καινούργιες τεχνικές ακτινοθεραπείας όπως είναι η DIBH/DEBH και η SGRT. Κάθε τεχνική έχει τα δικά της πλεονεκτήματα.

Πιο συγκεκριμένα,

- η τεχνική DIBH χρησιμοποιείται για να μειωθεί η δόση στα κρίσιμα όργανα,
- η τεχνική DEBH χρησιμοποιείται για ακτινοθεραπεία σε όργανα της άνω κοιλίας, με σκοπό την ελαχιστοποίηση της κίνησης,
- η τεχνική SGRT χρησιμοποιείται για την ακριβή και επαναλήψιμη τοποθέτηση του ασθενούς, έτσι ώστε να γίνεται σωστά η ακτινοβολήση του όγκου – στόχου.

Τέλος, γίνεται αναφορά στο συνδυασμό των παραπάνω τεχνικών, έτσι ώστε να επέρχεται ταυτόχρονα μειωμένη δόση στα κρίσιμα όργανα, ελαχιστοποίηση της κίνησης και σωστή ευθυγράμμιση του ασθενούς. Η τεχνική DIBH χρησιμοποιείται κυρίως σε ακτινοθεραπεία αριστερού μαστού, με σκοπό την όσο δυνατόν μικρότερη δόση στην καρδιά και στον πνεύμονα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Gotein M: Limitations of two – dimensional treatment planning programs. Med Phys 9: 580 – 586, 1982
- 2) PREDICT “Prevention, Early Detection and Individualised Cancer Therapy” (Πρόληψη, έγκαιρη διάγνωση κι εξατομικευμένη θεραπεία του καρκίνου)
- 3) Πτυχιακή Εργασία: « Η Φυσική της Ακτινοθεραπείας με Γραμμικό Επιταχυντή Ηλεκτρονίων», Σταύρος Σ. Σιούτης, Θεσσαλονίκη 2014.
- 4) Russel NS and Bartelink H: Radiotherapy: the last 25 years. Cancer treatment reviews 0: 365 – 376, 1999.
- 5) Khan FM: Treatment planning in Radiation Oncology, second edition (2005)
- 6) Ιατρική Φυσική, Διαγνωστικές & Θεραπευτικές Εφαρμογές των Ακτινοβολιών, Ευάγγελος Γεωργίου, Τόμος 2^{ος}, Κεφάλαιο 15^ο
- 7) Mohan R, Arnfield M, Tong S, et al: The impact of fluctuations in intensity patterns on the number of monitor units and the quality accuracy of intensity modulated radiotherapy. Med Phys 27: 1226 – 1237, 2000.
- 8) Xing L, Thorndyke B, Schreibmann E, et al: Overview of image – guided radiation therapy. Med Dosim 31: 91 – 112, 2006.
- 9) Podgorsak EB: Radiation Oncology Physics: A handbook for teachers and students, 2005, Chapter 7: Clinical Treatment Planning In External Photon Beam Radiotherapy.
- 10) Διδακτορική διατριβή: «Βελτιστοποίηση και αξιολόγηση σύγχρονων εφαρμογών ακτινοθεραπείας», Μαρία Γ. Ανδρέου, Αθήνα 2015.
- 11) Hayley B Stowe, Neal D Andruska, et al: Heart Sparing Rdiotherapy Techniques in Breast Cancer: A Focus on Deep Inspiration Breath Hold, July 2022
- 12) Carmen Bergom, Adam Currey, Nina Desai, An Tai and Jonathan B. Strauss: Deep Inspiration Breath Hold: Techniques and Advantages for Cardiac Sparing During Breast Cancer Irradiation, April 2018.
- 13) Angela Botticella, Antonin Levy, Guillaume Auzac, Isabelle Chabert, et al: Tumour motion management in lung cancer: a narrative review, April 2021.

- 14) Eleonora Paulicelli, Deborah Daniele, Stefano Presilla, et al: Deep inspiration breath hold in post-operative radiotherapy for right breast cancer: a retrospective analysis, September 2022.
- 15) L Rice, BSc Hons,¹ S Harris, MBBS, FRCP, M L Green, et al: Deep inspiration breath hold (DIBH) technique applied in right breast radiotherapy to minimize liver radiation, May 2015
- 16) Chuan Zeng , Xiang Li, Wei Lu, Marsha Reyngold, et al: Accuracy and efficiency of respiratory gating comparable to deep inspiration breath hold for pancreatic cancer treatment, January 2021
- 17) P. Freislederer, M. Kugele, M. Ollers. et al: Recent advances in Surface Radiation Therapy, October 2020
- 18) Siri T.Morkeset, Christoffer Lervag, et al: Clinical experience of volumetric-modulated flattening filter free stereotactic body radiation therapy of lesions in the lung with deep inspiration breath-hold, July 2022
- 19) Patrician A K Oliver, Mammo Yewondwossen, et al: Influence of intra-and interfraction motion on planning target volume margin in liver stereotactic body radiation therapy using breath hold, January 2021
- 20) Jianjun Lai, Zhizeng Luo, Haili Hu, et al: SGRT-based DIBH radiotherapy practice for right-sided breast cancer combined with RNI: A retrospective study on dosimetry and setup accuracy, August 2023
- 21) A Gonzalez_Sanchis, L Brualla-Gonzalez, C Fuster-Diana, et al: Surface-guided radiation therapy for breast cancer: more precise positioning, October 2021
- 22) Guang Li, Wei Lu, Kyle O Grady, Iris Yan, Ellen Yorke, Laura I Cervino Arriba, et al: A uniform and versatile surface-guided radiotherapy procedure and workflow for high-quality breast deep-inspiration breath-hold treatment in a multi-center institution, March 2022
- 23) Kavitha Srinivasan, Mohammad Mohammadi, et al: Applications of linac-mounted kilovoltage Cone-beam Computed Tomography in modern radiation therapy: A review, July 2014
- 24) Chuan Zeng, Qiyong Fan, Xiang Li, Yulin Song, Licheng Kuo, et al: A Potential Pitfall and Clinical Solutions in Surface-Guided Deep Inspiration Breath Hold Radiation Therapy for Left-Sided Breast Cancer, May 2023

- 25) V. Batista, M. Gober, F. Moura, A. Webster, M. Oellers, et al: Surface guided radiation therapy: An international survey on current clinician practice, March 2022
- 26) P. Freislederer, V. Batista, M. Öllers, M. Buschmann, et al: ESTRO-ACROP guideline on surface guided radiation therapy, May 2022
- 27) VisionRT, Safety Ingenuity Community: Reference guide - drawing an isocenter region of interest, November 2022
- 28) Gunel Jaji, Ulviye Nabizade, Isa Isayev, et al: Liver dose reduction by deep inspiration breath hold technique in right-sided breast irradiation, December 2019
- 29) Szilvia Gaal, Zsuzsanna Kahan, Bence Deak, Zoltan Varga, et al: Deep-inspiration breath-hold (DIBH) technique in left-sided breast cancer: various aspects of clinical utility, May 2021
- 30) Daniel Nguyen, Rebeca Reinoso, Nicolas Barbet, et al: Reproducibility of surface-based deep inspiration breath hold technique for lung stereotactic body radiotherapy on a closed-bore gantry linac, April 2023
- 31) Danfang Yan, Lihua Ning, Senxiang Yan, et al: Analysis of deep inspiration breath-hold technique to improve dosimetric and clinical advantages in postoperative intensity-modulated radiation therapy for thymomas, August 2022
- 32) Mirjam Mast, Sophie Perryck, et al: Introduction to: Surface Guided Radiotherapy (SGRT), June 2022
- 33) Διπλωματική Εργασία: Έλεγχος ποιότητας και προσδιορισμός των τιμών αναφοράς των συστημάτων απεικόνισης γραμμικού επιταχυντή, Φανού Άννα Μαρία, Αθήνα 2020
- 34) Simon S.Lo, Bim S.Teh, Jiade J.Lou, Tracey,E. Schefter Editors: Stereotactic Body Radiation Therapy, Εκδόσεις Springer, 2019

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

- 1) Radiation Physics Design, Inc. (Varian Type III, Simulator Cone Set Without Drawing Plates).
- 2) Radiation Oncology 101, Published on July 18, 2014.
- 3) Radiation Products Design, Inc. (Shielding Devices and Eye Applicators, Lead Shielding Blocks).
- 4) Ιατρική Φυσική, Διαγνωστικές & Θεραπευτικές Εφαρμογές των Ακτινοβολιών, Ευάγγελος Γεωργίου, Τόμος 2^{ος}, Κεφάλαιο 15^ο.
- 5) Θεραπευτικές Εφαρμογές Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών – Ακτινοθεραπεία, Παντελής Καραϊσκος.
- 6) Podgorsak EB: Radiation Oncology Physics: A handbook for teachers and students, 2005.
- 7) Kei Ichiji, Noriyasu Homma, Masao Sakai, Makoto Abe: A Respiratory Motion Prediction Based on Time – Variant Seasonal Autoregressive Model for Real-Time Image-Guided Radiotherapy, July 2013.
- 8) Yi-Chi Liu, Hung-Ming Chang, Hsin-Hon Lin, Chian-Chun Lu and Lu-Han Lai: Dosimetric Comparison of Intensity-Modulated Radiotherapy, Volumetric Modulated Arc Therapy and Hybrid Three-Dimensional Conformal Radiotherapy/Intensity-Modulated Radiotherapy for Right Breast Cancer, November 2020.
- 9) The Elekta ABC System Benefits from the latest Aktina Medical Mouthpiece, June 2018.
- 10) New Breast Cancer Treatment Technology Reduces Side Effects, September 2016.
- 11) Cancer Care: Ιατρείο Κλινικής Ογκολογίας: Ακτινοθεραπεία, Αθανάσιος Καραγιάννης
- 12) Kristian Tumanova, Salim Nidal, Alexey Popodko, Alexander Stolbovoy: Most Appropriate Radiation Therapy Techniques for the Breast Cancer Treatment: Dosimetric Analysis of Three Different Radiation Therapy Methods

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗΣ EDGE ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ VARIAN ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ MEDITERRANEO.	12
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΓΡΑΜΜΙΚΟΣ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗΣ HALCYON ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ HALCYON ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ MEDITERRANEO.	13
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΕΝΟΣ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ ΟΠΟΥ ΑΠΕΙΚΟΝΙΖΕΤΑΙ ΤΟ ΙΣΟΚΕΝΤΡΟ ΑΥΤΟΥ [6]	14
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΚΩΝΟΙ (CONES), ΤΟΠΟΘΕΤΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΗ ΤΟΥ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ ΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ [1]	15
ΕΙΚΟΝΑ 5: MULTI LEAF COLLIMATOR (MLC'S) [2]	16
ΕΙΚΟΝΑ 6: BLOCKS [3]	16
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΠΕΔΙΟ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΗΡΑ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΩΣΤΕ ΝΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΖΕΤΑΙ ΣΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ ΟΓΚΟΥ – ΣΤΟΧΟΥ. [4]	17
ΕΙΚΟΝΑ 8: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ 3D CRT, IMRT, VMAT ΣΕ ΣΑ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΜΑΣΤΟΥ. (12)	20
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΣΗ ΚΕΦΑΛΙΟΥ ΣΤΗ ΣΤΕΡΕΟΤΑΚΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗ (STEREOTACTIC RADIOSURGERY - SRS).	21
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΦΑΣΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΝΕΙ ΤΗΝ ΟΜΑΛΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΚΟΡΥΦΩΝ BRAGG, ΩΣΤΕ Ο ΟΓΚΟΣ ΝΑ ΛΑΜΒΑΝΕΙ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΔΟΣΗ [4]	22
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ GTV, CTV, ITV, PTV (7)	24
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑ ΔΟΣΗΣ ΟΓΚΟΥ [8]	25
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΚΩΝΙΚΗΣ ΔΕΣΜΗΣ CONE BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY - CBCT ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΟ ΣΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ. [11]	28
ΕΙΚΟΝΑ 14: ΑΞΟΝΙΚΟΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΣ (CT SIMULATOR) TOSHIBA 16 ΤΟΜΩΝ, ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ MEDITERRANEO.	30
ΕΙΚΟΝΑ 15: ΑΞΟΝΙΚΟΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΟΣ (CT SIMULATOR) TOSHIBA 16 ΤΟΜΩΝ, ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ MEDITERRANEO ΜΕ ΤΑ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΟΝ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΠΟΥ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΜΙΑ ΑΞΟΝΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ ΒΑΘΙΑΣ ΕΙΣΠΝΟΗΣ CT-DIBH.	32
ΕΙΚΟΝΑ 16: REFLECTING ΓΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΑΝΑΠΝΟΗΣ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ VARIAN (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ MEDITERRANEO).	36
ΕΙΚΟΝΑ 17: ΤΕΧΝΙΚΗ DIBH ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΜΑΣΤΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ VARIAN EDGE ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ MEDITERRANEO.	36
ΕΙΚΟΝΑ 18: ΣΠΕΙΡΟΜΕΤΡΟ ΓΙΑ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΡΟΗΣ ΟΓΚΟΥ ΑΕΡΑ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΕΛΕΚΤΑ. [9]	37
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΤΕΧΝΙΚΗ DIBH ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΜΑΣΤΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ ΕΛΕΚΤΑ. [10]	37
ΕΙΚΟΝΑ 20: CONE-BEAM COMPUTED TOMOGRAPHY (CBCT) ΜΕ ΤΗΝ ΤΕΧΝΙΚΗ DEEP INSPIRATION BREATH HOLD (DIBH) ΣΕ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΜΑΣΤΟΥ.	38
ΕΙΚΟΝΑ 21: ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΣΕ ΑΣΘΕΝΗ ΜΕ ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΜΑΣΤΟ, ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΗ DEEP INSPIRATION BREATH HOLD (DIBH) ΣΤΟ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ EDGE RADIOSURGERY SYSTEM ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ VARIAN.	39
ΕΙΚΟΝΑ 22: ΤΕΧΝΙΚΗ DIBH ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ ΣΑ ΠΝΕΥΜΟΝΑ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΗ SBRT ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ EDGE RADIOSURGERY SYSTEM ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ VARIAN ΤΟΥ ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟΥ MEDITERRANEO.	41
ΕΙΚΟΝΑ 23: CBCT ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΗ ΒΑΘΙΑΣ ΕΙΣΠΝΟΗΣ (DIBH) ΣΕ ΑΣΘΕΝΗ ΜΕ ΣΑ ΠΝΕΥΜΟΝΑ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΗ SBRT (STEREOTACTIC BODY RADIATION THERAPY) ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ EDGE RADIOSURGERY SYSTEM ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ VARIAN.	41
ΕΙΚΟΝΑ 24: ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΗ ΒΑΘΙΑΣ ΕΙΣΠΝΟΗΣ (DIBH) ΣΕ ΑΣΘΕΝΗ ΜΕ ΣΑ ΠΝΕΥΜΟΝΑ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΗ SBRT (STEREOTACTIC BODY RADIATION THERAPY) ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ EDGE RADIOSURGERY SYSTEM ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ VARIAN.	42
ΕΙΚΟΝΑ 25: CBCT ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΗ ΒΑΘΙΑΣ ΕΚΠΝΟΗΣ (DEBH) ΣΕ ΑΣΘΕΝΗ ΜΕ ΣΑ ΠΑΓΚΡΕΑΤΟΣ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΗ SBRT (STEREOTACTIC BODY RADIATION THERAPY) ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟ ΕΠΙΤΑΧΥΝΤΗ EDGE RADIOSURGERY SYSTEM ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΕΙΑΣ VARIAN (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ MEDITERRANEO).	44

ΕΙΚΟΝΑ 26:ΥΠΕΡΥΘΡΕΣ ΚΑΜΕΡΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SGRT, ΟΙ ALIGNRT ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VISIONRT (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΜΕDITERRANEΟ).	45
ΕΙΚΟΝΑ 27: ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΠΛΑΓΙΕΣ ΥΠΕΡΥΘΡΕΣ ΚΑΜΕΡΕΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SGRT, ΟΙ ALIGNRT ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VISIONRT (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΜΕDITERRANEΟ).	45
ΕΙΚΟΝΑ 28: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ROI ΣΕ CΑ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΜΑΣΤΟΥ.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 29:ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ROI ΣΕ CΑ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΜΑΣΤΟΥ ΣΕ ΙΔΙΑΙΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ.....	49
ΕΙΚΟΝΑ 30: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ROI ΣΕ CΑ ΔΕΞΙΟΥ ΜΑΣΤΟΥ ΟΤΑΝ Ο ΜΑΣΤΟΣ ΕΙΝΑΙ ΜΕΓΑΛΟΣ	49
ΕΙΚΟΝΑ 31: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ROI ΜΕ IMRT ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΞΩΤΕΡΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑΣ, ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VISIONRT (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΜΕDITERRANEΟ).	50
ΕΙΚΟΝΑ 32: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ROI ΣΕ CΑ ΗΠΑΡ, ΠΝΕΥΜΟΝΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΑΝΩ ΚΟΙΛΙΑΣ, ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VISIONRT (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΜΕDITERRANEΟ).	51
ΕΙΚΟΝΑ 33: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ROI ΣΕ CΑ ΠΡΟΣΤΑΤΗ, ΟΡΘΟΥ, ΠΥΕΛΟΥ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΑ, ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VISIONRT (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΜΕDITERRANEΟ)	51
ΕΙΚΟΝΑ 34: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ROI ΣΕ CΑ ΠΡΟΣΤΑΤΗ, ΟΡΘΟΥ, ΠΥΕΛΟΥ ΓΕΝΙΚΟΤΕΡΑ, ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VISIONRT (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΜΕDITERRANEΟ).	52
ΕΙΚΟΝΑ 35: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ROI ΣΕ ΕΝΔΟΚΡΑΝΙΑΚΟΥΣ ΟΓΚΟΥΣ (SRS), ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VISIONRT (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΜΕDITERRANEΟ).	52
ΕΙΚΟΝΑ 36: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ROI (REGION OF INTEREST) ΓΙΑ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΜΑΣΤΟΥ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΗΣ SGRT, ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VISIONRT (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΜΕDITERRANEΟ).	56
ΕΙΚΟΝΑ 37:ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ SGRT, ΓΙΑ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗ ΤΟΥ ΩΜΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΜΑΣΧΑΛΙΑΙΟΥ ΜΥ, ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VISIONRT (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΜΕDITERRANEΟ).	56
ΕΙΚΟΝΑ 38: ΕΙΚΟΝΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΥ ROI ΓΙΑ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΑΡΙΣΤΕΡΟΥ ΜΑΣΤΟΥ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΥΠΕΡΥΘΡΩΝ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ SGRT, ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VISIONRT (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΜΕDITERRANEΟ).	57
ΕΙΚΟΝΑ 39:ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ SGRT ΧΩΡΙΣ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΑΤΤΟΟ MARKERS, ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ VISIONRT (ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΜΕDITERRANEΟ)	57