



ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

«ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΑ»

Έλεγχος και διόρθωση της τοποθέτησης (SET UP) των ασθενών -
σύγκριση ακρίβειας αυτόματου και χειροκίνητου CBCT.

«ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΓΓΛΙΚΑ»

«Verification and correction of patient positioning (set-up) - comparison of accuracy
between automatic and manual CBCT»

υπό

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ

ΝΤΕΛΗΜΗΤΡΟ ΔΙΟΜΗΔΗ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των
απαιτήσεων για την απόκτηση του
Διπλώματος Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Φυσικές Αρχές Βιοϊατρικής Απεικόνισης και Ακτινοπροστασία»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή
Κώστας Κάππας, Ομότιμος Καθηγητής ΤΙ ΠΘ
Τσούγκος Ιωάννης, Καθηγητής ΤΙ ΠΘ
Θεοδώρου Κυριακή, Καθηγήτρια ΤΙ ΠΘ

Λάρισα, 2024

«ΤΙΤΛΟΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ»

Έλεγχος και διόρθωση της τοποθέτησης (SET UP) των ασθενών -
σύγκριση ακρίβειας αυτόματου και χειροκίνητου CBCT.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:

1. Περίληψη	3
2. Abstract	4
3. Εισαγωγή	5
4. Θεωρητικό πλαίσιο / Βιβλιογραφική ανασκόπηση	6
a. Διαδικασία Ακτινοθεραπείας	9
b. Set up (τοποθέτηση ασθενών)	12
c. Επιβεβαίωση θέσης θεραπείας και απεικόνιση	12
5. Σκοπός	13
6. Μεθοδολογία	19
a. Image processing	26
b. Μετρήσεις και επεξεργασία δεδομένων	29
7. Αποτελέσματα	34
a. Απόλυτες τιμές	34
b. Γενικός κανόνας	34
c. Αποκλίνοντες ανατομικοί άξονες	34
8. Συμπεράσματα	36
9. Βιβλιογραφία	43

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα νεοπλασματικά νοσήματα και η καρδιακή νόσος αποτελούν πλέον την συχνότερη αιτία θανάτου παγκοσμίως. Οι σύγχρονες μέθοδοι σχεδιασμού ακτινοθεραπείας και τα σύγχρονα μηχανήματα ακτινοβολήσης, μας προσφέρουν την καλύτερη δυνατή λύση αντιμετώπισης αυτής της νόσου.

Σκοπός της εργασίας είναι να αναδείξει προβλήματα και αστοχίες που λαμβάνουν χώρα καθημερινά κατά την κλινική ρουτίνα. Σε περίπτωση αδυναμίας ταύτισης των δυο εικόνων μεταξύ του SETUP κατά την εξομοίωση με το SETUP του ασθενούς επί της κλίνης θεραπείας, είναι σε θέση το σύστημα μέσα από τις τεχνικές ταύτισης (auto – manual matching) να διορθώσει αυτές τις διαφορές ?

Για την εκπόνηση της συγκεκριμένης μελέτης λήφθηκε δείγμα πληθώρας περιστατικών όπως: (1) εγκεφάλου, (12) λάρυγγα, (15) πνεύμονα, (20) μαστού, (8) προστάτη.

Για κάθε εξεταζόμενο όργανο καταγράφηκαν οι συντεταγμένες (vrt, long, lat) του κέντρου του όγκου (tumor) ως προς το σύστημα αξόνων XYZ. Καταγράφηκε η διόρθωση MANUAL και η διόρθωση AUTO κατά XYZ για κάθε τοποθέτηση ασθενούς. Εξήχθη η τιμή [MANUAL–AUTO] XYZ για κάθε τοποθέτηση ασθενούς. Εξήχθη η μέση τιμή (AVERAGE) των **απόλυτων** τιμών [MANUAL–AUTO] XYZ για όλους τους ασθενείς.

Αποτελέσματα:

Το εύρος των αποκλίσεων αποκλείει την καταφυγή σε έναν γενικό κανόνα όπως « όλες οι διορθώσεις μόνο με auto matching » ή « όλες οι διορθώσεις μόνο με manual matching».

Αποδεικνύεται ότι ο ανατομικός άξονας ο οποίος εμφανίζει τη μεγαλύτερη διαφορά αποκλίσεων έναντι των υπόλοιπων, είναι ο άξονας του «longitudinal».

Συμπεράσματα: Οι αποκλίσεις που προκύπτουν (για όλους τους ανατομικούς άξονες) και με τις δυο τεχνικές ταύτισης δεν διαφέρουν ιδιαίτερα.

Λέξεις κλειδιά: Σύγχρονες τεχνικές ακτινοθεραπείας, ακινητοποίηση ασθενών, τοποθέτηση, διαδικασία ακτινοθεραπείας, απεικόνιση στην ακτινοθεραπεία

ABSTRACT

The neoplastic diseases and cardiovascular disease are now the most common causes of death worldwide. Modern radiotherapy planning methods and modern radiation machines offer us the best possible solution for dealing with this disease.

The aim of the study is to highlight problems and inaccuracies that occur daily during clinical routine. In case of inability to match the two images between the SET UP during simulation with the SET UP of the patient on the treatment couch, can the system through matching techniques (auto - manual matching) correct these differences?

For the completion of this study, a sample of various cases was taken such as: (1) brain, (12) larynx, (15) lungs, (20) breasts, (8) prostates. For each examined organ, the coordinates (vrt, long, lat) of the center of the tumor were recorded with respect to the XYZ system. The MANUAL correction and the AUTO correction by XYZ were recorded for each patient setup. The value [MANUAL–AUTO] XYZ was extracted for each patient setup. The average value (AVERAGE) of the absolute values [MANUAL–AUTO] XYZ for all patients was obtained.

Results: The range of deviations precludes resorting to a general rule such as 'all corrections only with auto - matching' or 'all corrections only with manual matching'.

It is shown that the anatomical axis which shows the greatest difference in deviations compared to the others is the 'longitudinal' axis.

Conclusions: The deviations that arise (for all anatomical axes) with both matching techniques do not differ significantly.

Keywords : radiotherapy techniques, anatomical axes, patient SET UP, imaging in radiotherapy, CBCT, adaptive.

Η ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ακτινοθεραπεία αποτελεί μία από τις βασικές θεραπευτικές προσεγγίσεις κατά του καρκίνου και γενικότερα των κακοήθων νοσημάτων (αλλά και πολλών καλοήθων παθήσεων, όπως το νευρίνωμα, τα αιμαγγειώματα, το αδένωμα της υπόφυσης και άλλες) [1]. Σκοπός της ακτινοθεραπείας είναι να χορηγήσει, κατά περίπτωση, την καταλληλότερη δόση στους καρκινικούς ιστούς, ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη πιθανότητα ελέγχου της ανάπτυξης των καρκινικών κυττάρων. Ταυτόχρονα πρέπει να περιορίζεται η βλάβη των ακτινοβολούμενων μη καρκινικών ιστών και οργάνων στο κατώτερο δυνατόν, αποδεκτό επίπεδο.

Η Ακτινοθεραπεία μπορεί να χορηγηθεί από μόνη της ή σε συνδυασμό με την χειρουργική επέμβαση και την χημειοθεραπεία.

Ανάλογα με το είδος και το στάδιο του νεοπλασματος και ανάλογα με το επιδιωκόμενο θεραπευτικό αποτέλεσμα, η ακτινοθεραπεία μπορεί να εφαρμοστεί πριν την χειρουργική επέμβαση (προεγχειρητική), μετά από αυτήν (μετεγχειρητική) ή και κατά την διάρκεια της χειρουργικής επέμβασης (διεγχειρητική ακτινοθεραπεία).

Ο συνδυασμός της ακτινοθεραπείας με την χημειοθεραπεία έχει ορισμένες φορές άλλο συγχρονισμό: οι δύο θεραπείες μπορούν να συνδυάζονται ταυτόχρονα ή σε αλληλουχία. Η διαδικασία της ακτινοθεραπείας είναι πολύπλοκη και περιλαμβάνει την κατανόηση τόσο των αρχών ιατρικής φυσικής, ραδιοβιολογίας, ακτινοπροστασίας, δοσιμετρίας, ακτινοθεραπευτικού σχεδιασμού, εξομοίωσης όσο και την αλληλεπίδραση με άλλα είδη θεραπειών. Η Ακτινοθεραπεία χρησιμοποιεί δύο είδη ακτινοβολίας: την ακτινοβολία Χ υψηλής ενέργειας και την σωματιδιακή ακτινοβολία (ηλεκτρόνια, πρωτόνια και άλλα). Με τα σύγχρονα μηχανήματα εντοπισμού του στόχου η ακτινοβολία κατευθύνεται με μεγάλη ακρίβεια στην περιοχή που έχει τον καρκινικό όγκο, με σκοπό την καταστροφή των καρκινικών κυττάρων.

Πράγματι, ο βασικός στόχος της ακτινοθεραπείας είναι η εντοπισμένη και μεγάλης ακρίβειας χορήγηση μίας δόσης ακτινοβολίας, ικανής να καταστρέψει τον όγκο, με την ελάχιστη δυνατή βλάβη στους γειτονικούς φυσιολογικούς ιστούς.

Οι παρούσες συνθήκες, η μέχρι στιγμής κεκτημένη γνώση – εξειδίκευση σε αυτόν τον τομέα και τα κατάλληλα ακτινοθεραπευτικά μέσα (ιατρο-τεχνικός εξοπλισμός) είναι

σε θέση να εκπληρώσουν αυτόν τον στόχο; Υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης ή ακόμα και επίλυσης τέτοιων προβλημάτων ως προς την επίτευξη του ακτινοθεραπευτικού στόχου; Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να αναδείξει τις πιθανές αστοχίες που λαμβάνουν χώρα καθημερινά κατά την κλινική ρουτίνα αλλά και τρόπους επίλυσης αυτών των προβλημάτων.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ – ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Διαδικασία της ακτινοθεραπείας:

Η ακτινοθεραπεία ως διαδικασία είναι πολύπλοκη και απαιτεί την σύμπνοια και την απόλυτη συνεργασία διάφορων επαγγελματιών ως προς την εφαρμογή αυτής. Ο πίνακας 1 παρουσιάζει τους τρεις άμεσους συμμετέχοντες στην διαδικασία της ακτινοθεραπείας.

Πίνακας 1: Επαγγελματίες που εμπλέκονται στην διαδικασία της ακτινοθεραπείας.

Ειδικότητες		Ρόλος
Ακτινοθεραπευτής Ογκολόγος	RO	1. Συμβουλευεί σχετικά με τις επιλογές θεραπείας. 2. Σχεδιάζει τους όγκους στόχους και τους υγιείς ιστούς. 3. Οργανώνει τη διαδικασία της ακτινοθεραπευτικής προσέγγισης. 4. Ελέγχει και εγκρίνει το πλάνο θεραπείας. 5. Παρακολουθεί όλα τα στάδια της θεραπείας. 6. Είναι υπεύθυνος για τον επανέλεγχο των ασθενών (follow up).
Τεχνολόγος Ακτινοθεραπείας / Δοσιμέτρης	RT	1. Πληροφορεί και καθοδηγεί τους ασθενείς τόσο σε πρακτικά θέματα όσο και ψυχολογικά. (υποστηρίζει) 2. Πραγματοποιεί την εξομοίωση. 3. Σχεδιάζει το πλάνο. 4. Υπεύθυνος για την μεταφορά των δεδομένων. 5. Χορηγεί καθημερινά τη συνεδρία της θεραπείας. 6. Επαληθεύει τη διαδικασία της ακτινοθεραπείας (στοιχεία της εξομοίωσης και του πλάνου θεραπείας) μέσα από την καθημερινή απεικόνιση (CBCT) του ασθενούς.
Ακτινοφυσικός	MP	1. Καθορίζει – ελέγχει τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται σε όλα τα στάδια της ακτινοθεραπευτικής προσέγγισης. 2. Σχεδιάζει τις προδιαγραφές της εγκατάστασης του χώρου της ακτινοθεραπείας και υπολογίζει την θωράκιση. 3. Υπεύθυνος για την εύρυθμη λειτουργία τόσο του εξοπλισμού (αξονικός εξομοίωσης, γραμμικός επιταχυντής) όσο και των υπολογιστικών συστημάτων (aria, eclipse). 4. Πιστοποιεί την δοσιμετρική ασφάλεια (Εξομοιωτής, set-up) 5. Ελέγχει τα πλάνα θεραπείας.

Μέσα από τον πίνακα 2, παρουσιάζονται όλες οι τυπικές διαδικασίες που ακολουθεί κάθε επαγγελματίας (εμπλεκόμενος στην ακτινοθεραπεία) για την υλοποίηση αυτής. Επίσης παραθέτει και τις ευθύνες που αναλογούν σε κάθε ειδικότητα.

Πίνακας 2: Διαδικασίες ακτινοθεραπείας και προσδιορισμός των επαγγελματικών ομάδων που είναι υπεύθυνες για κάθε βήμα.

Στάδιο	Περιγραφή	Ευθύνη		
		RO	RT	MP
1. Εκτίμηση των ασθενών	- Λήψη ιστορικού - Φυσική/ κλινική εξέταση - Ανασκόπηση των διαγνωστικών πληροφοριών	○		
2. Απόφαση για θεραπεία	Παραθέτει τις επιλογές της θεραπευτικής προσέγγισης	○		
3. Περιγράφει τις πτυχές του θεραπευτικού πρωτοκόλλου	Καθορίζει την δόση, κλασματοποίηση, προτείνει επιπλέον λύσεις (ΧΜΘ)	○		
4. Τοποθέτηση/ ακινητοποίηση	Σχεδιάζει/ καθιερώνει τη θέση θεραπείας, η οποία πρέπει να είναι αναπαραγώγιμη και επαναλήψιμη		○	
5. Εξομοίωση	Ορίζονται τα σημεία αναφοράς στο σώμα του ασθενούς (tattoos). Κατά την εξομοίωση ο ασθενής τοποθετείται στην ίδια θέση, όπως και σε κάθε συνεδρία ακτινοθεραπείας.		○	
6. Σχεδιασμός πλάνου θεραπείας	Υπολογισμός δόσης		○	○
7. Μεταφορά πληροφοριών (data) της θεραπείας	Πραγματοποιείται η μεταφορά της ιατρικής πληροφορίας και των δεδομένων δόσης στο τοπικό δίκτυο του ακτινοθεραπευτικού τμήματος.		○	○
8. Set up ασθενών	Τοποθέτηση ασθενούς στη θέση θεραπείας για κάθε συνεδρία		○	
9. Εκτέλεση θεραπείας	Χορήγηση δόσης ακτινοβολίας		○	○
10. Έλεγχος και παρακολούθηση θεραπείας	Αποδοχή του ακτινοθεραπευτικού πλάνου με port films και δοσιμετρία, καθημερινή απεικόνιση για τον έλεγχο της θέσης του ασθενούς και του πλάνου θεραπείας	○	○	○

Μια πλήρης ακτινοθεραπευτική διαδικασία αρχίζει με τον ενδεδειγμένο έλεγχο του ιστορικού του ασθενούς. Μόλις ολοκληρωθεί αυτό το βήμα, ο ακτινοθεραπευτής ογκολόγος προτείνει το θεραπευτικό πρωτόκολλο.

Ακολουθεί η διαδικασία της εξομοίωσης μέσω της οποίας λαμβάνονται όλα εκείνα τα δεδομένα – πληροφορίες που καθιστούν την υλοποίηση της ακτινοθεραπείας, εφικτή. Η εξομοίωση στην πλειονότητα των περιπτώσεων πραγματοποιείται με την βοήθεια εξειδικευμένου αξονικού τομογράφου ο οποίος προσομοιάζει τις γεωμετρικές παραμέτρους της μονάδος θεραπείας (CT-Simulator).

Κατά την εξομοίωση τίθενται οι βάσεις για τον σχεδιασμό του ακτινοθεραπευτικού πλάνου. Καθώς μέσα από αυτή την διαδικασία ορίζεται τόσο η θέση – ακινητοποίηση του ασθενούς για όλες τις θεραπευτικές συνεδρίες όσο και τα όρια του όγκου που θα αποτελέσει την πηγή μελέτης για το πλάνο θεραπείας. Πιθανές αστοχίες, σε αυτό το στάδιο είναι σε θέση να προκαλέσουν μεγάλες δυσκολίες σε όλη την υπόλοιπη διάρκεια της θεραπείας (Πίνακας 3). Κατά τον ίδιο χρόνο διαμορφώνονται εξατομικευμένα συστήματα ακινητοποίησης για τον περιορισμό της ακούσιας κίνησης του ασθενή κατά τη διάρκεια της θεραπείας. Με τον τρόπο αυτό παραμένει σε συγκεκριμένη θέση και κατά τη διάρκεια της θεραπείας. (Εικόνα 1)



Εικόνα 1: Διάφορες συσκευές ακινητοποίησης.

Πίνακας 3: Εξομοίωση

Κίνδυνοι	Πιθανές επιπτώσεις	Λύσεις
1. Λάθος ταυτοποίηση ασθενούς	high	- Έλεγχος ID - Photo ID - Πιστοποίηση ικανότητας - Κατάλληλες γνώσεις και εκπαίδευση
2. Κακή τοποθέτηση σε σχέση με τα σημεία αναφοράς	high	- Πιστοποίηση ικανότητας - Συνεχής εκπαίδευση - Ανεξάρτητος έλεγχος
3. Καθορίζοντας λάθος όγκο	high	
4. Εσφαλμένη οριοθέτηση του όγκου στόχου και OAR	high	
5. Λάθος σχετικά με την σύμπτυξη των εικόνων	medium	
6. Φωτεινό πεδίο και laser, να μην είναι ταυτισμένα και ευθυγραμμισμένα	medium	- Ασφάλεια ποιότητας του εξοπλισμού - Έλεγχος ποιότητας των και των διαδικασιών
7. Αδυναμία καθορισμού του ισοκέντρου με ακρίβεια	high	Ενδελεχής έλεγχος όλων των διαδικασιών
8. Κακή ποιότητα εικόνων	medium	
9. Λάθος επιλογή πρωτοκόλλου απεικόνισης	medium	
10. Λάθος ως προς την περιοχή απεικόνισης	medium	
11. Λάθος απεικονιζόμενη πλευρά	high	
12. Αλλαγή θέσης ασθενούς	high	
13. Λάθος πληροφορίες orientation	high	

Ένα πλήρες ακτινοθεραπευτικό σχήμα εκτελείται καθημερινά (τις εργάσιμες ημέρες της εβδομάδος) και μπορεί να διαρκέσει από μερικές ημέρες έως και κάποιες εβδομάδες. Για την επίτευξη του στόχου της ακτινοθεραπείας, που είναι η καταπολέμηση, η ίαση του καρκίνου, οι ασθενείς θα πρέπει να τοποθετούνται και να ακινητοποιούνται (αυστηρά) επαναλήψιμα με τον ίδιο τρόπο καθ' όλη τη διάρκεια των συνεδριών της ακτινοθεραπείας, για την πλήρη ταύτιση του πλάνου θεραπείας.

Αστοχίες ως προς την τοποθέτηση ή έλλειψη επιτυχούς ακινητοποίησης έχουν ως αποτέλεσμα, ο όγκος οποίος έχει σχεδιαστεί ώστε να ακτινοβοληθεί να μην λάβει την επιθυμητή ποσότητα της προβλεπόμενης δόσης. Αυτό με τη σειρά του ενέχει το κίνδυνο υποτροπής, ή ακόμα χειρότερα, όργανα τα οποία κρίνονται άκρως ακτινοευαίσθητα και υπό προστασία, να υπέρ – ακτινοβολούνται προκαλώντας ανεπανόρθωτες βιολογικές βλάβες. Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί πως για να είναι δυνατόν να σχεδιαστεί και να υλοποιηθεί με επιτυχία ένα ακτινοθεραπευτικό

πλάνο, απαιτείται η πλήρης συνεργασία του ασθενούς. Κάθε ασθενής θα πρέπει να συμμορφώνεται με τις οδηγίες των επαγγελματιών και να είναι σε θέση τόσο σωματικά όσο και ψυχολογικά να φέρει σε πέρας τις ανάγκες ακινητοποίησης ως προς την θεραπεία [2]. Ωστόσο, στην πραγματικότητα είναι εξαιρετικά δύσκολο, καθώς πολλοί ασθενείς είναι ήδη αρκετά καταπονημένοι. (Πίνακας 4)

Πίνακας 4: Τοποθέτηση και ακινητοποίηση.

Κίνδυνοι	Πιθανές επιπτώσεις	Λύσεις
1. Ασθενείς οι οποίοι αδυνατούν να συμμορφωθούν με τις οδηγίες της διαδικασίας	medium	Ολοκληρωμένη αξιολόγηση των ασθενών και τεκμηρίωση των δυσκολιών
2. Λάθος/ άστοχη τοποθέτηση ασθενών	high	• Δημιουργία λίστας με τα θεραπευτικά πρωτόκολλα • Ανεξάρτητος έλεγχος • Αξιοπρεπές επίπεδο στελέχωσης και εκπαίδευσης στην in vivo δοσιμετρία
3. Διαφορετική τοποθέτηση για διαφορετικούς τρόπους απεικόνισης	medium	
4. Κακή ακινητοποίηση	medium	
5. Εσφαλμένη χρήση της συσκευής ακινητοποίησης	medium	
6. Ανακριβής μεταφορά του prescription (πλάνου θεραπείας)	high	

Ακολουθεί ο σχεδιασμός θεραπείας με στόχο τη χορήγηση της μέγιστης επιθυμητής δόσης στην νόσο και της ελάχιστης δυνατής στους υγιείς ιστούς. Για να επιτευχθεί αυτό και ανάλογα την περίπτωση αποφασίζεται η τεχνική η οποία θα εφαρμοστεί (3D-CRT ή IMRT / VMAT).

Ο ιατρός καθορίζει τη συνολική δόση ακτινοβολίας που θα χορηγηθεί καθώς και τον αριθμό των συνεδριών που αυτή θα ολοκληρωθεί. Ο ακτινοφυσικός καθορίζει τη ενέργεια των δεσμών ακτινοβολίας που θα χρησιμοποιηθεί, το πλήθος αυτών και τη βέλτιστη γεωμετρία των πεδίων γύρω από το σώμα του ασθενή.

Setup (τοποθέτηση) ασθενών

Η ακτινοθεραπεία χορηγείται καθημερινά. Η επανατοποθέτηση στην ίδια θέση και ίδια στάση αποτελεί τον πλέον σημαντικό παράγοντα επιτυχίας της ακτινοθεραπείας. Κατά το SETUP οι τεχνολόγοι ακτινοθεραπείας τοποθετούν και ακινητοποιούν τον ασθενή με τον ίδιο τρόπο, όπως και στην εξομοίωση, καθοδηγούμενοι από τα εξωτερικά οδηγία σημεία (tattoos). Εφόσον τα σημάδια ταυτιστούν με το σύστημα laser του μηχανήματος, καθίσταται εύκολος ο γεωμετρικός εντοπισμός του ισοκέντρου της θεραπείας. Ωστόσο, η θέση του ασθενούς επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως, η αίσθηση έντονου πόνου, οι μεταβολές της κλινικής κατάστασης αλλά και από την ακούσια κίνηση των ίδιων των οργάνων. Επίσης, ο ασθενής μπορεί να μετακινηθεί κατά την διάρκεια της θεραπείας [3]. Για τον λόγο αυτό, σχεδόν όλα τα σύγχρονα ακτινοθεραπευτικά τμήματα έχουν εντάξει στον ιατρικό τους εξοπλισμό κάμερες παρακολούθησης [4].

Πίνακας 5: Set up ασθενών

Κίνδυνοι	Πιθανές επιπτώσεις	Λύσεις
1. Αστοχία ως προς την ταυτοποίηση του ασθενούς	high	- Έλεγχος ID - Photo ID
2. Αποτυχία αξιολόγησης της κλινικής κατάστασης του ασθενούς	medium	- Επάρκεια γνώσεων - Σωστή εκπαίδευση
3. Κακή τοποθέτηση	high	- Ανεξάρτητος έλεγχος - Κατάλληλα ακινητοποιητικά βοηθήματα
4. Κακή επιλογή ακινητοποιητικών συσκευών	medium	
5. Λάθος πλευρά σώματος (L,R)	high	
6. Λάθος ισόκεντρο	high	
7. Παράλειψη bolus	high	
8. Unnecessarily complex, set up limiting reproducibility	high	Μηχανικός έλεγχος των πρωτοκόλλων της θεραπείας
9. Αλλαγή τοποθέτησης του ασθενούς κατά το set up	high	Visual monitoring κατά τη συνεδρία της θεραπείας

Επιβεβαίωση θεραπείας και απεικόνιση

Πριν την χορήγηση της θεραπείας, επιβάλλεται η απεικόνιση για την επαλήθευση τόσο της ορθής τοποθέτησης και θέσης του ασθενούς για την θεραπεία, όσο και του

πλάνου θεραπείας. Μέσω της απεικόνισης παρέχεται η δυνατότητα εντοπισμού των σφαλμάτων θέσης ή και ακόμα σωματικές μεταβολές των ασθενών. Επίσης μέσω της απεικόνισης διασφαλίζεται η χορήγηση της θεραπείας στον προβλεπόμενο ιστό ή όργανο, χωρίς απώλειες. Όταν η θέση του ασθενούς παρουσιάζει αποκλίσεις, μέσω της απεικόνισης αυτές εντοπίζονται και διορθώνονται κατά το μέγιστο δυνατό.



Εικόνα 2: Αναπαράσταση της διαδικασίας του SETUP του ασθενούς και εικόνα CBCT επαλήθευσης της θέσης.

Όσον αφορά στα όρια ανοχής σφαλμάτων και αποκλίσεων θα πρέπει να αξιολογούνται διαρκώς για την μείωση των κινδύνων χορήγησης μιας “κακής” θεραπείας.

Μετά την ολοκλήρωση της απεικόνισης, ο τεχνολόγος ακτινοθεραπείας συγκρίνει τις εικόνες εξομοίωσης και καθημερινής ληφθείσας εικόνας. Μέσα από αυτή την διαδικασία επιβεβαιώνεται η αναγκαιότητα υψηλής εξειδίκευσης του τεχνολόγου ώστε να παρεμβαίνει σε αυτή τη διαδικασία. Να κρίνει εάν η αυτόματη ταύτιση των δύο εικόνων είναι ικανοποιητική ή να εμπλέκεται άμεσα και χειροκίνητα πλέον να κατευθύνει τη διαδικασία με απώτερο σκοπό τη χορήγηση – κάθε φορά – του ήδη άρτια σχεδιασμένου πλάνου θεραπείας;

ΣΚΟΠΟΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα όρια ανοχής σφαλμάτων και αποκλίσεων θα πρέπει να αξιολογούνται διαρκώς. Στο βήμα αυτό, πριν την χορήγηση θεραπείας, επικεντρώνεται το ερευνητικό ενδιαφέρον της παρούσας εργασίας. Τα πλαίσια αυτής εξειδικεύονται ως ακολούθως:

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, μέσα από την περιγραφή όλων των τυπικών σταδίων/ βημάτων μιας ολοκληρωμένης ακτινοθεραπευτικής διαδικασίας, η ακινητοποίηση και η τοποθέτηση του ασθενούς σε επαναλήψιμη θέση κρίνεται ως η πιο σημαντική διαδικασία πριν την χορήγηση της θεραπείας [5-10].

Πιο συγκεκριμένα, για να επιτευχθεί το προκείμενο, στους ασθενείς προσαρμόζονται εξωτερικά ακινητοποιητικά στηρίγματα [11]. Τα στηρίγματα ακινητοποίησης έχουν δύο θεμελιώδεις ρόλους: α) ακινητοποιούν τον ασθενή κατά την διάρκεια της θεραπείας, β) παρέχεται ένα αξιόπιστο μέσο αναπαραγωγής της θέσης του ασθενούς από την εξομοίωση στη θεραπεία και από την μια συνεδρία θεραπείας στην επόμενη.

Πριν την χορήγηση μιας ακτινοθεραπευτικής συνεδρίας απαιτείται η επιβεβαίωση τόσο της θέσης θεραπείας του ασθενούς όσο και του πλάνου θεραπείας. Η επιβεβαίωση – απεικόνιση πραγματοποιείται με τους κάτωθι τρόπους:

1. EPID (Electronic Portal Imaging Device) – (MV/kVports)/2D images
2. Cone beam CT (CBCT), kV/ MV

1. Electronic Portal Imaging Device (EPID):

Η τεχνική απεικόνισης μέσω portal imaging, είναι μια διαδικασία λήψης 2D εικόνων. Η κύρια εφαρμογή αυτού του συστήματος απεικόνισης είναι η επαλήθευση θέσης θεραπείας του ασθενούς σε πραγματικό χρόνο. Χρησιμοποιεί μια δέσμη ακτινοβολίας, εκμεταλλευόμενη τον ίδιο τον γραμμικό επιταχυντή. Μπορεί επίσης να διαθέτει και μια επιπλέον ακτινολογική λυχνία για τη λήψη kV εικόνων. Η δέσμη ακτινοβολίας μπορεί να απορροφηθεί από το σώμα του ασθενούς, να σκεδαστεί ή να διαπεράσει το σώμα του ασθενούς. Το τμήμα εκείνο της δέσμης που θα διαπεράσει το σώμα του ασθενούς, θα προσκρούσει στον ανιχνευτή, θα καταγραφεί και θα συμβάλλει στην παραγωγή των επιθυμητών ανατομικών εικόνων.

Τεχνικά χαρακτηριστικά του portal imaging

- Το σύστημα EPID είναι σχεδιασμένο να παράγει εικόνες με επιλογή δέσμης από 1 έως 20 MV.
- Διαθέτει έναν ανιχνευτή εικόνας (flat panel), διαστάσεων 30x25 cm² στο ισόκεντρο.

- Το flat panel [Εικόνα 3] αποτελείται από έναν μετατροπέα ακτίνων X σε ορατό φως, ανιχνευτή φωτός και ένα ηλεκτρονικό σύστημα λήψης και επεξεργασίας της ψηφιακής εικόνας [12].
- Τα σύγχρονα συστήματα EPID μετατρέπουν την ενέργεια των ηλεκτρονίων και των φωτονίων σε οπτικό φως χρησιμοποιώντας μια πλάκα χαλκού πάχους 1 mm και μια σχετικά λεπτή οθόνη σπινθηριστή Cu-GOS [13].
- Τα μηχανικά τμήματα του συστήματος, τα οποία είναι τοποθετημένα επί του σκελετού του γραμμικού επιταχυντή μπορούν να μετακινηθούν είτε χειροκίνητα είτε μέσω ελέγχου του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Οι εικόνες που προέρχονται από το EPID είναι αποτέλεσμα της υψηλής ενέργειας δέσμης ακτίνων X που διαπερνούν και αλληλεπιδρούν με τους ανιχνευτές ευαισθησίας του EPID. Το σύστημα ανιχνεύει τα ηλεκτρόνια χαμηλής ενέργειας ως αποτέλεσμα σκέδασης (Compton) των φωτονίων υψηλής ενέργειας. Μόλις ολοκληρωθεί η απεικόνιση, η εικόνα είναι διαθέσιμη προς αξιολόγηση και επεξεργασία στον εκάστοτε σταθμό εργασίας.



Εικόνα 3: Το flat – panel του συστήματος EPID.

Πλεονεκτήματα

- Λήψη εικόνων σε πραγματικό χρόνο και επιβεβαίωση της θέσης του ασθενούς.
- Παρακολούθηση των σωματικών μεταβολών του ασθενούς με την πάροδο του χρόνου και της κίνησης των οργάνων κατά την συνεδρία ή μεταξύ των συνεδριών.
- Απαιτείται ελάχιστος χρόνος για την ολοκλήρωση αυτής της απεικονιστικής διαδικασίας.
- Εύκολες μετρήσεις ελέγχου QA [14-15]

Μειονεκτήματα

- Μειωμένη Χωρική Διακριτική Ικανότητα (ΧΔΙ) μεταξύ βασικών ανατομικών δομών (bones, soft tissues).
- 2D απεικόνιση των 3D όγκων και οργάνων, με αποτέλεσμα να χάνονται πολλές φορές χρήσιμες πληροφορίες.
- Η ανατομική περιοχή ενδιαφέροντος δεν μπορεί να υπερβαίνει το μέγεθος του ανιχνευτή
- Οι μηχανικές προσθήκες (βραχίονες και συσκευές) της διαδικασίας μπορεί να παρεμποδίζουν το setup των ασθενών
- Αργή χρονικά ανάπτυξη και εδραίωση των λογισμικών εργαλείων ανάλυσης για την καθιέρωση και την κλινική χρήση αυτών των τεχνικών.

2. α.MV – CBCT

Το σύστημα MV-CBCT είναι εγκατεστημένο – ενσωματωμένο επί του γραμμικού επιταχυντή. Το σύστημα είναι εξοπλισμένο με μια επίπεδη οθόνη (flat panel) άμορφου πυριτίου, ειδικά προσαρμοσμένη για να ανιχνεύει τα MeV φωτόνια. Ο ανιχνευτής βρίσκεται απέναντι από την λυχνία και περιστρέφεται μαζί με αυτήν αντιδιαμετρικά [16]. Η τράπεζα θεραπείας παραμένει σταθερή. Η δέσμη του CBCT έχει το σχήμα κώνου.

Το CBCT – MV είναι μια ιατρική τεχνική απεικόνισης που εντάσσεται στο εύρος των megavoltage, για να μπορέσει να παραγάγει μια εικόνα οστικών δομών ή/ και των γειτονικών δομών μέσα στο σώμα. Το πλάνο θεραπείας καθώς και η συσκευή απεικόνισης χρησιμοποιούν ως κοινό παρονομαστή το ίδιο ισόκεντρο. Το υπολογιστικό τμήμα της διαδικασίας παρέχει αυτοματοποιημένη λήψη εικόνων, ανακατασκευή και σύγκριση αυτών των εικόνων με τις εικόνες της CT – εξομοίωσης ως προς την επιβεβαίωση του πλάνου θεραπείας. Υπολογίζει με ακρίβεια τις μετατοπίσεις της τράπεζας θεραπείας. Τέλος παρέχει ικανή ευκρίνεια για την απεικόνιση και ανάλυση μαλακών δομών όπως ο προστάτης.

Τεχνικά χαρακτηριστικά του MV-CBCT

- Ογκομετρική απεικόνιση μέσω της χρήσης δέσμης 6 MV
- Υψηλής ευαισθησίας ανιχνευτής a-Si panel [17]
- Περιστροφή Gantry κατά 360°
- Χρόνος λήψης εικόνων: ~ 50 sec & ανασύνθεση ~ 1 min
- Εύρος πάχους τομής: 1 mm to 5 mm
- Χορηγούμενη δόση 3 cGy – 12 cGy ανά συνεδρία.

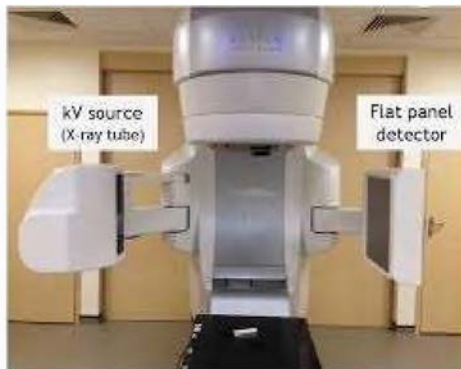
2. β. kV – CBCT

Το σύστημα του kV – CBCT απαιτεί την ενσωμάτωση στην μονάδα μίας επιπλέον συμβατικής ακτινολογικής λυχνίας ακτίνων X. Το σύστημα αυτό είναι εγκατεστημένο σε έναν ανασυρόμενο βραχίονα στις 90° από το gantry του γραμμικού επιταχυντή [Εικόνα 4]. Ακριβώς απέναντι από την ακτινολογική λυχνία βρίσκεται τοποθετημένος ένας ανιχνευτής επίπεδης οθόνης. Το σχήμα της δέσμης είναι κωνικό και περιλαμβάνει τη λήψη πολλών kV ακτινογραφιών καθώς το gantry περιστρέφεται κατά 360°. Ο ειδικός αλγόριθμος οπίσθιας προβολής, χρησιμοποιείται για την ανακατασκευή των παραγόμενων εικόνων. Όλο το σύστημα απεικόνισης ελέγχεται αποκλειστικά από τον σταθμό εργασίας τον οποίο χειρίζεται ο τεχνολόγος.

Τεχνικά χαρακτηριστικά του kV - CBCT

- Ογκομετρική απεικόνιση μέσω της χρήσης ακτινολογικής λυχνίας

- Υψηλής ευαισθησίας ανιχνευτής επίπεδης οθόνης
- Περιστροφή Gantry κατά 360°
- Χρόνος λήψης εικόνων: ~ 1 min 20 sec & ανασύνθεση ~ 30 sec
- Πάχος τομής: 1 mm



Εικόνα 4: Σύστημα kV - CBCT

Μεταξύ των δύο επιλογών, η αντίθεση των ανατομικών δομών και η ακρίβεια οριοθέτησης είναι ανώτερη με το kV – CBCT σε σχέση με το MV – CBCT.

Τα βασικά μειονέκτημα του MV - CBCT έναντι του kV είναι η επιπλέον δόση, της τάξης των 3 – 12 cGy με την οποία επιβαρύνεται ο ασθενής στην προσπάθεια επίτευξης της ίδιας ποιότητας εικόνας με το kV – CBCT [18-20] και η χαμηλή ΧΔΙ μεταξύ των ανατομικών δομών. Επιπλέον με κατάλληλα συστήματα EPID (πρόσθεση ψηφιακού ανιχνευτή) θα μπορούσε θεωρητικά να χρησιμοποιηθεί και ως εργαλείο καταμέτρησης και επαλήθευσης της χορηγούμενης δόσης [21].

Αναφέρονται επίσης και άλλες απεικονιστικές μέθοδοι όπως οι: CT-Linac (απαιτείται μια πρόσθετη CT συσκευή στην αίθουσα θεραπείας), φορητό C-arm kV imager (βλέπε Medical Dosimetry V.31, 2006, pp.51-61).

Αναλύθηκαν ενδελεχώς οι παραπάνω τεχνικές καθώς τυγχάνει να είναι οι περισσότερο διαδεδομένες μέθοδοι.

Μετά την ολοκλήρωση της απεικόνισης, ο τεχνολόγος ακτινοθεραπείας αξιολογεί τις εικόνες και πάντα σε συνεννόηση με την υπόλοιπη επιστημονική ομάδα προχωρά στην χορήγηση της θεραπείας.

Σε αυτό το στάδιο αναδείχθηκαν τα επιστημονικά ερωτήματα, στα οποία καλείται να απαντήσει η παρούσα διπλωματική εργασία.

Ο προβληματισμός ο οποίος τίθεται είναι ο εξής:

Με τι κριτήριο θα πρέπει ο τεχνολόγος να αξιολογεί ορθολογικά αυτές τις εικόνες, τις παραγόμενες μέσω των συστημάτων απεικόνισης για την ορθή χορήγηση της θεραπείας;

Σε δεύτερο επίπεδο, θα πρέπει να αποδέχεται τα δεδομένα της απεικόνισης χωρίς καμία παρέμβαση ή να αναλαμβάνει την ευθύνη των χειροκίνητων διορθώσεων με σκοπό την καλύτερη δυνατή θέση θεραπείας και κατά συνέπεια την καλύτερη δυνατή θεραπεία? Λαμβάνοντας πάντα υπόψη όλες τις παραμέτρους που αφορούν μια ολοκληρωμένη ακτινοθεραπευτική διαδικασία.

Μέσα από μια ενδελεχή βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ένα “επιστημονικό κενό” ως προς το διπλό ερώτημα:

α) Σε περίπτωση κατά την οποία η τοποθέτηση του ασθενούς στην κλίνη θεραπείας δεν συμπίπτει με την αρχική θέση στην κλίνη του εξομοιωτή, ποιες συνιστώσες ορθογώνιας μετακίνησης / γωνίες στροφής είναι δυνατόν να διορθωθούν (αυτόματα ή χειροκίνητα) και ποιες όχι;

β) Οι βέλτιστες μετακινήσεις / γωνίες επιτυγχάνονται με το αυτόματο σύστημα της μονάδος ή χειροκίνητα (auto ή manual matching)?

Το σύνολο της βιβλιογραφίας αναδεικνύει τη σημασία της τοποθέτησης και της ακινητοποίησης του ασθενούς αλλά δεν αναδεικνύει αξιόπιστες και εφαρμόσιμες λύσεις.

Το εγχείρημα αυτής της εργασίας είναι να εμβαθύνει στην ακτινοθεραπευτική διαδικασία και να αναδείξει τη σημασία της επιστημονικής αξιολόγησης των εικόνων επιβεβαίωσης θέσης των ασθενών πριν την χορήγηση της ακτινοθεραπευτικής συνεδρίας.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, κατά το στάδιο της αξονικής εξομοίωσης εκτελείται η βέλτιστη (άνετη για τον ασθενή, ορθή για την ακτινοβολήση) ακινητοποίηση του ασθενούς. Ο τρόπος δηλαδή με τον οποίο, ο ασθενής θα λαμβάνει

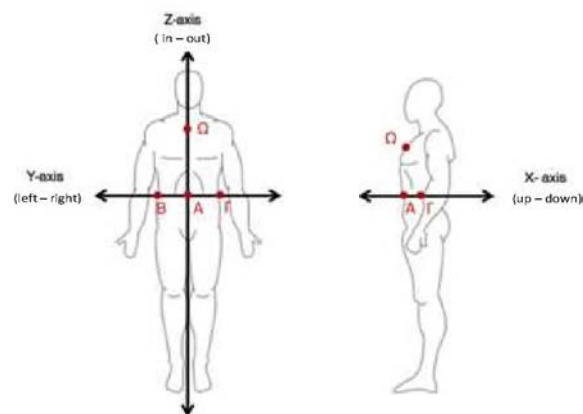
επαναλήψιμα τη θέση επί της κλίνης ώστε να του χορηγείται η θεραπεία καθημερινά στο ίδιο ακριβώς σημείο.

Το επόμενο βήμα είναι να σχεδιαστούν επί του σώματος του ασθενούς 4 σημάδια, υπό την καθοδήγηση του συστήματος laser του αξονικού. Τα σημάδια επισημαίνονται με ακτινοσκοπερά bips ώστε να αναδειχθούν κατά την απεικόνιση του σώματος (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Επισημάνση των σημαδιών με ακτινοσκοπερά bips.

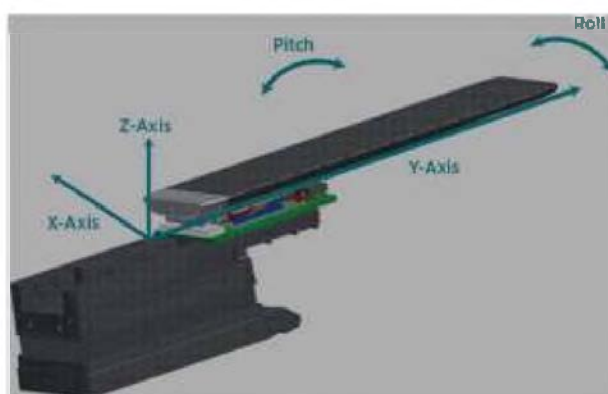
Μετά τη λήψη των απαραίτητων εικόνων, ορίζονται οι ανατομικοί άξονες XYZ που αντιστοιχούν στο σώμα του ασθενούς. Αυτό γίνεται με την καθοδήγηση των προαναφερθέντων σημαδιών που πλέον ορίζουν το ισόκεντρο του CT (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Αντιστοίχιση σημαδιών με τους ανατομικούς άξονες (το διάνυσμα ΑΓ είναι πλάγιο και δεν κείται επί του X άξονος).

Σε περίπτωση κατά την οποία η τοποθέτηση του ασθενούς στην κλίνη θεραπείας δεν συμπίπτει με την αρχική θέση στην κλίνη του εξομοιωτή, ποιές συνιστώσες ορθογώνιας μετακίνησης / γωνίες στροφής είναι δυνατόν να διορθωθούν (αυτόματα ή χειροκίνητα) και ποιες όχι;

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να σημειωθεί, ότι η παρούσα διπλωματική εργασία, πραγματοποίησε τη μελέτη σε συμβατική κλίνη (couch) ακτινοθεραπείας και όχι κλίνη στερεοταξίας (δίνει την δυνατότητα 6 επιπλέον κινήσεων - στροφών) (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Κλίνη θεραπείας (στερεοταξίας), η οποία προσφέρει 6 επιπλέον κινήσεις.

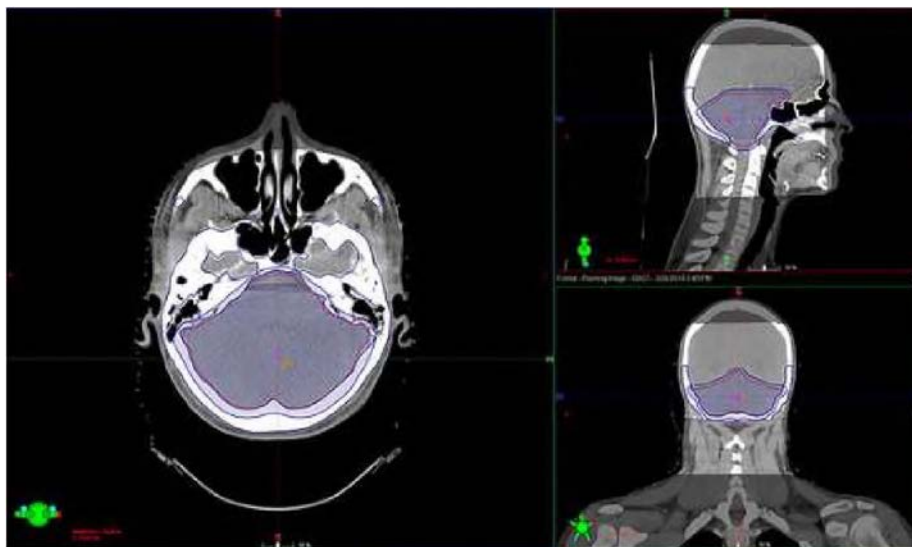
Πιο συγκεκριμένα ο λόγος που καθιερώνεται το 4^ο σημάδι ως προς την αποφυγή της στροφής του σώματος και κατ'έκταση την αποφυγή σφαλμάτων θέσης και επαναληπτικότητας είναι το γεγονός ότι η ταύτιση των εικόνων προέρχεται από την σύγκριση των αποκλίσεων ως προς τους τρεις άξονες (x, y, z). Σε περίπτωση που υπάρχει στροφή στο σώμα του ασθενούς το CBCT δεν μπορεί να το διορθώσει. Θα μπορούσε κάποιος να ισχυριστεί πως με την επιλογή της χειροκίνητης διόρθωσης (manual matching), το πρόβλημα θα λυνόταν.

Οποιαδήποτε διόρθωση ή ταύτιση αφορά αποκλειστικά στους τρεις ανατομικά άξονες (vertical, longitudinal, lateral) και δεν μπορούμε να διορθώσουμε (με την βοήθεια μηχανοκίνητων κινήσεων), οποιαδήποτε στροφή ή κλίση του σώματος του ασθενούς καθώς η κλίνη δεν μετακινείται ως προς το pitch, roll ή rotation.

Στο επόμενο στάδιο, ως προς απάντηση του πρώτου ερωτήματος, θα πραγματοποιηθεί εμπεριστατωμένη και ενδελεχής ανάλυση του τρόπου με τον οποίο αξιολογείται η παραγόμενη εικόνα μέσω CBCT. Η αξία αυτής της εικόνας είναι ζωτικής σημασίας, καθώς μέσα από αυτή επιβεβαιώνεται τόσο η προεπιλεγμένη θέση

ακινητοποίησης και κατ' επέκταση θέση θεραπείας όσο και πιθανές σωματικές αλλαγές (π.χ απώλεια βάρους).

Έτσι λοιπόν, μετά την τοποθέτηση και ακινητοποίηση του ασθενούς ακολουθεί η απεικονιστική διαδικασία μέσω CBCT. (Εικόνα 8 a,b,c)



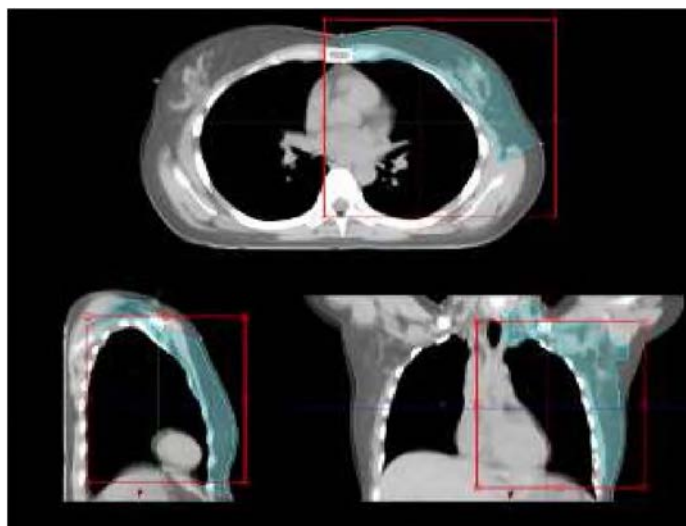
Εικόνα 8 a: Εικόνες CBCT για περιπτώσεις head&neck.

Αναδεικνύονται τα τρία ανατομικά επίπεδα (axial, coronal, sagittal), έτσι έχουμε μια 3D αναπαράσταση της ανατομικής περιοχής υπό ακτινοβολήση.

Πριν την αξιολόγηση των εικόνων με στόχο την ταύτιση των ανατομικών δομών και οργάνων προς ακτινοβολήση (targets) και οργάνων τα οποία πρέπει να προστατευτούν από αυτή (OARs), δίνεται μια πρώτη εκτίμηση της θέσης του ασθενούς μέσα στην θερμοπλαστική μάσκα ακινητοποίησης.

Αν διαπιστωθούν στροφή ή κλίσεις, οι οποίες υποδηλώνουν κακή θέση του ασθενούς εντός της μάσκας είτε από αδυναμία συνεργασίας του ίδιου είτε κακού χειρισμού από πλευράς των τεχνολόγων, κρίνεται απαραίτητη η επανατοποθέτηση του ασθενούς και επανάληψη της διαδικασίας [22].

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, οι στροφές και οι κλίσεις του σώματος δεν μπορούν να υποστούν διόρθωση είτε με αυτόματη ταύτιση (auto – matching) είτε δίδοντας χειροκίνητα εντολή για μηχανική διόρθωση (manual – matching), δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να διορθώσει πιθανές αστοχίες που αφορούν τη θέση του ασθενούς με σκοπό την πλήρη - κατά το δυνατό - ανατομική ταύτιση της περιοχής ενδιαφέροντος.



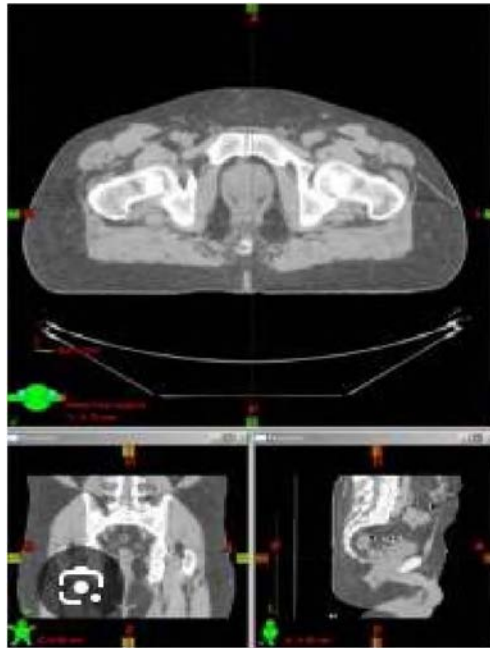
Εικόνα 8 b: Εικόνες CBCT για περιοχές του θώρακα.

Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελεί η περιοχή του θώρακα, όπου τα κριτήρια αξιολόγησης όσον αφορά στην ανατομία της περιοχής διαφέρουν.

Καθοριστικός παράγοντας σε αυτές τις περιπτώσεις κρίνεται η αναπνευστική ακούσια κίνηση. Κατά την διαδικασία της προετοιμασίας του ασθενούς (κατά την εξομοίωση) και κατά τις καθημερινές συνεδρίες ακτινοθεραπείας, δίδεται πάντα η οδηγία στον ασθενή να βρίσκεται σε κατάσταση ηρεμίας και να αναπνέει φυσιολογικά και ήρεμα. Η μη τήρηση αυτού δυσκολεύει την διαδικασία ταύτισης των δύο εικόνων και η σύγκριση αυτών κρίνεται από δυσχερή έως αδύνατη.

Εν συνεχεία, αξίζει να σημειωθεί πως είναι απαραίτητη η πλήρης συνεργασία και κατανόηση της διαδικασίας από την πλευρά του ασθενούς κατά την τοποθέτηση επί της κλίνης θεραπείας. Για παράδειγμα, ένας ασθενής ο οποίος κατά την πρώτη ημέρα της εξομοίωσης ήταν αγχωμένος και σφιγμένος ενώ μετά την έναρξη των καθημερινών συνεδριών αφέθηκε στην διαδικασία και χαλάρωσε. Μια τέτοια αλλαγή στη συμπεριφορά του δημιουργεί αστοχίες ταύτισης των ανατομικών δομών της περιοχής.

Τέλος αν και φαντάζει αμελητέα, η θέση των ωμοπλάτων είναι εξίσου σημαντική και καθοριστική. Μια κακή θέση των ωμοπλάτων σε σχέση με την αρχική τους κατά την εξομοίωση διαταράσσει όλη την ανατομία. Δημιουργεί προβλήματα ταύτισης των δομών και οργάνων τα οποία κατά το ακτινοθεραπευτικό πλάνο σχεδιάστηκαν τα μεν παθολογικά να ακτινοβοληθούν τα δε υγιή να προστατευθούν από την ανεπιθύμητη έκθεση σε ακτινοβολία.



Εικόνα 8 c: Εικόνες CBCT για περιοχές της πυέλου.

Σε περιπτώσεις νεοπλασίας στην περιοχή της πυέλου (π.χ προστάτης, ενδομήτριο, ορθό) ο ασθενής στην πλειονότητα των περιπτώσεων τοποθετείται ύπτια ακινητοποιώντας την περιοχή θεραπείας με «knee fix» (όπου knee fix, συσκευή ακινητοποίησης). Όσον αφορά στην τοποθέτηση και την ακινητοποίηση του σώματος, το knee fix μπορεί να δημιουργήσει αστοχίες ταύτισης των εικόνων του CBCT. Εάν δεν τοποθετηθεί το knee fix ιδανικά κατά την αρχική τοποθέτηση, τότε δημιουργούνται προβλήματα θέσης.

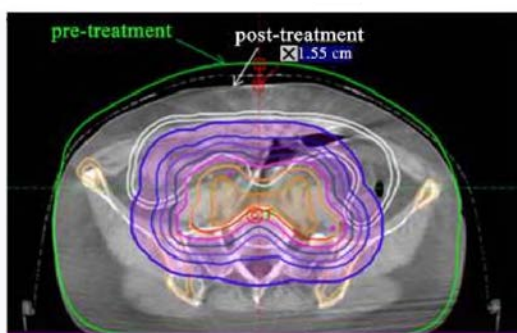
Πιο συγκεκριμένα, κατά την κακή – άστοχη θέση του knee fix οι κεφαλές των μηριαίων μπορεί να παρουσιάζουν στροφή έσω ή έξω καθώς και όλη η πύελος να εμφανίζει κλίση κατά τον άξονα του « pitch ».

Ωστόσο, ακόμα και αν ξεπεραστούν αυτές οι τεχνικές δυσκολίες ο μεγαλύτερος προβληματισμός εγείρεται γύρω από την συμμόρφωση του ίδιου του ασθενή ως προς τις αρχικές οδηγίες προετοιμασίας για την ακτινοθεραπευτική διαδικασία.

Πιο συγκεκριμένα, ζητείται από τον ασθενή πριν ακόμα και από την αξονική εξομοίωσης το έντερό του να είναι άδειο καθώς και η κύστη να έχει πληρότητα από νερό. Αυτό γίνεται με σκοπό ο ασθενής να ακτινοβολείται καθημερινά κάτω από τις ίδιες ανατομικές και δοσιμετρικές συνθήκες κατά το προσχεδιασμένο πλάνο θεραπείας.

Θα αποτελούσε παράλειψη αν δεν γινόταν αναφορά στη συνεχή παρακολούθηση του σωματικού βάρους του ασθενούς καθώς οι σωματικές – ανατομικές μεταβολές επηρεάζουν το σύνολο της ακτινοθεραπευτικής διαδικασίας [23].

Κατά τη διάρκεια της ακτινοθεραπευτικής διαδικασίας, μπορεί να εμφανιστούν μορφολογικές - σωματικές μεταβολές στους ασθενείς (όπως απώλεια βάρους). Ως συνέπεια της ακτινοθεραπείας, η κατάσταση αυτή μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές δοσιμετρικές απώλειες στους όγκους στόχους και/ ή στα όργανα που χρήζουν προστασίας. (Εικόνα 9)



Εικόνα 9: Το περίγραμμα του σώματος συγκριτικά πριν και κατά την διάρκεια των ακτινοθεραπευτικών συνεδριών.

Οι ανατομικές αλλαγές – όταν προκύπτουν – κατά το πλάνο θεραπείας, αναδεικνύουν προβλήματα ταύτισης. Τόσο ανατομικά όσο και δοσιμετρικά. Τα προβλήματα αυτά είναι ικανά να οδηγήσουν σε απόκλιση της πραγματικής χορηγηθείσας δόσης στον ασθενή [24].

Κάθε αλλαγή που λαμβάνει χώρα εντός του σώματος του ασθενούς συμβαίνει σε διάφορες χρονικές κλίμακες, που κυμαίνονται από δευτερόλεπτα για την καρδιακή και αναπνευστική κίνηση, σε λεπτά για πλήρωση της ουροδόχου κύστης, ημέρες για περιστροφές του προστάτη, πλήρωση ή κένωση του ορθού και αλλαγές στο σχήμα του τραχήλου της μήτρας και εβδομάδες για αλλαγές που σχετίζονται με τη θεραπεία, όπως απώλεια βάρους, διάρροια που προκαλείται ως απώτερη τοξικότητα - συνέπεια από την έκθεση σε ακτινοβολία και υποχώρηση του όγκου.

Πιο αναλυτικά, κατά την τυπική διαδικασία σχεδιασμού ενός πλάνου θεραπείας υπολογίζονται πως θα δεχτούν δόση ακτινοβολίας και τα όργανα όγκοι στόχοι (targets - PTV) καθώς επίσης και τα όργανα σε κίνδυνο (OAR). Υπό την καθοδήγηση πάντα των διεθνών πρωτοκόλλων ακτινοθεραπείας (NCCN guidelines).

Έτσι λοιπόν, η ακριβής χορήγηση της δόσης ακτινοβολίας κατά το πλάνο θεραπείας στην ανατομική περιοχή ενδιαφέροντος είναι σημαντική για να εξασφαλιστεί το ακτινοθεραπευτικό αποτέλεσμα, όπως επίσης και να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος τοξικότητας των φυσιολογικών ιστών.

Όπως τονίστηκε προηγουμένως, κατά την ακτινοθεραπευτική διαδικασία, σε κάποια χρονική στιγμή είναι πολύ πιθανό να προκύψουν σωματικές αλλαγές. Αναπόφευκτα όταν συμβαίνει αυτό, επηρεάζεται όλη η περιοχή ενδιαφέροντος (targets, OARs). Η κατάσταση αυτή χρήζει άμεσης αντιμετώπισης μέσω της διαδικασίας αναπροσαρμογής του πλάνου θεραπείας (adaptive).

Ο δοσιμετρικός υπολογισμός στην ανατομίας της περιοχής θεωρείται πλέον ανεπαρκής καθώς έχει αλλάξει το περιβάλλον των οργάνων προς ακτινοβολήση. Έστω και μια μικρή αλλαγή στην κατανομή της χορηγηθείσας δόσης μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία κάλυψης του PTV, με αποτέλεσμα ο ασθενής να υπο ή υπερδοσιάζεται.

Ωστόσο, η μέτρηση της απόστασης πηγής – επιφάνεια σώματος ή δέρματος (SSD), αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο επαλήθευσης τόσο για την διαδικασία SETUP του ασθενή πριν την χορήγηση της θεραπείας όσο και για τον έλεγχο πιθανών σωματικών αλλαγών. Η μέτρηση του SSD διασφαλίζει ότι η εξωτερική επιφάνεια στο σώμα του ασθενούς καθώς επίσης και το ισόκεντρο παραμένουν σταθερά.

Μεθοδολογία (image processing):

Σε αυτό το σημείο της εργασίας θα γίνει μια περιγραφική ανασκόπηση της διαδικασίας συλλογής, μελέτης και εξαγωγής δεδομένων τα οποία αποτελούν το βασικό κορμό διερεύνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στον τοπικό σταθμό εργασίας του τμήματος Ακτινοθεραπείας (eclipse) αναζητήσαμε το ιστορικό θεραπειών των εσωτερικών ασθενών. Μέσα στο σύνολο των εργαλείων και δυνατοτήτων του συστήματος, υπάρχει η επιλογή του « offline review». Το εργαλείο αυτό, παρέχει την δυνατότητα στον χρήστη να παρακολουθεί την πορεία

εκτέλεσης των ακτινοθεραπευτικών συνεδριών σε τρίτο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, με το πέρας μιας ολοκληρωμένης θεραπευτικής διαδικασίας (setup, imaging, treatment), αποθηκεύονται και καταγράφονται όλα τα δεδομένα στο τοπικό εσωτερικό δίκτυο. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα οποιαδήποτε στιγμή να ανασύρει πληροφορίες από το πλήρες ιστορικό του ασθενούς (π.χ σύνολο CBCT πριν τη χορήγηση της θεραπείας).

Από την μηχανή αναζήτησης του συστήματος εισάγουμε το όνομα του ασθενούς. Επιλέγοντας το όνομα το οποίο θα αποτελέσει πηγή άντλησης δεδομένων, εμφανίζεται ο φάκελος του ασθενούς που περιέχει το σύνολο των ολοκληρωμένων ακτινοθεραπευτικών συνεδριών. Σε αυτό το φάκελο περιγράφονται αναλυτικά το σύνολο των συνεδριών καθώς επίσης και το σύνολο των CBCT που λήφθηκαν για κάθε συνεδρία πριν την χορήγηση της θεραπείας. Μέσα από το σύνολο των ακτινοθεραπευτικών συνεδριών μπορούμε να επιλέξουμε οποιαδήποτε ημέρα. Κατόπιν της επιλογής ημέρας εμφανίζεται το πλήρες ιστορικό εκείνης της ημέρας (CBCT, fields of treatment του πλάνου θεραπείας).

Σε αυτό το στάδιο κυρίως στηρίχθηκε η ερευνητική προσέγγιση αυτής της εργασίας. Όταν επιλέξουμε με τον κέρσορα το εικονίδιο του CBCT – μέσα στα πλαίσια του « session timeline » εμφανίζονται οι μετακινήσεις – αποκλίσεις που χρειάστηκε να εκτελέσει το couch θεραπείας ώστε να δώσει την τελική επιθυμητή θέση του σώματος του ασθενούς σε σχέση με το ισόκεντρο του σχεδιασμένου πλάνου θεραπείας.

Παράλληλα, από την πληθώρα εργαλείων που προσφέρει το σύστημα του eclipse, είμαστε σε θέση να πραγματοποιήσουμε εκ νέου auto matching να κάνουμε κάποιες επιπρόσθετες χειροκίνητες διορθώσεις από την επιλογή του manual matching.

Ωστόσο, ανεξάρτητα από το τελικό αποτέλεσμα των διορθώσεων ως προς την τελική θέση του couch με την επιλογή του « acquisition position » η εικόνα επανέρχεται την αρχική θέση πριν υποστεί οποιαδήποτε διόρθωση κατά την προσπάθεια του αλγόριθμου να την ταυτίσει ιδανικά – κατά το δυνατό – με την εικόνα της CT εξομοίωσης/ σχεδιασμού του πλάνου θεραπείας. (Σημείωση: Όλες οι προαναφερθείσες ενέργειες αφορούν στην δυνατότητα του « offline review », καθώς

η άντληση των δεδομένων στα πλαίσια της έρευνας πραγματοποιείται από ολοκληρωμένες ακτινοθεραπευτικές συνεδρίες.)

Με αυτή την επιλογή έχουμε μια σφαιρική εικόνα των μετακινήσεων που χρειάστηκαν να πραγματοποιηθούν από το couch θεραπείας και με τις δύο τεχνικές (auto/ manual matching), ώστε να προτείνουν την ιδανική θέση θεραπείας για την κάθε συνεδρία ακτινοθεραπείας.

Πριν την εξαγωγή των δεδομένων (export data), με σκοπό την εκπόνηση της στατιστικής μας ανάλυσης, είχαμε στη διάθεσή μας ένα ακόμα εργαλείο. Το εργαλείο αυτό είναι της σύγκρισης των εικόνων του CBCT (compare of CBCT images), τα οποία κρίθηκαν κατάλληλα για την χορήγηση της θεραπείας. Με αυτό το εργαλείο έχουμε την δυνατότητα να ανατρέξουμε στο ιστορικό οποιουδήποτε ασθενούς (με ολοκληρωμένο ακτινοθεραπευτικό πρωτόκολλο), να ανασύρουμε εικόνες CBCT από διαφορετικές συνεδρίες και να τις συγκρίνουμε.

Με αυτό τον τρόπο είχαμε άλλο ένα εργαλείο αξιολόγησης όλης της διαδικασίας μιας ακτινοθεραπευτικής συνεδρίας, από το SETUP του ασθενούς ως και την χορήγηση της θεραπείας. Καθώς μέσα από τον έλεγχο των εικόνων του CBCT αξιολογήσαμε πόσο κοντά είναι οι καθημερινές αποκλίσεις του couch.

Αξιολόγηση επιτυχίας της διαδικασίας:

- Σωστή και επαρκής ακινητοποίηση του ασθενούς επί του couch θεραπείας.
- Κατάλληλοι και σωστοί χειρισμοί από πλευράς τεχνολόγων για την διαδικασία του SETUP των ασθενών.
- Συνεργασία ασθενών/ πλήρης κατανόηση της διαδικασίας.
- Τεχνική κατάρτιση και επάρκεια γνώσεων των τεχνολόγων για την ορθή αξιολόγηση των εικόνων του CBCT με σκοπό την χορήγηση της θεραπείας.

Έχοντας ως γνώμονα την αρχική θέση που έλαβε η κλίνη θεραπείας, πριν τη λήψη του CBCT, μελετήσαμε ξεχωριστά τις κλίσεις που προκύπτουν από τις δυο τεχνικές (auto και manual matching).

Μεθοδολογία επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων:

Στόχος της τοποθέτησης του ασθενούς στην κλίνη θεραπείας (Linac set-up) είναι η προσέγγιση όσο το δυνατόν πλησιέστερα των αρχικών τιμών, όπως αυτές καθορίστηκαν με την τοποθέτηση του ασθενούς στον εξομοιωτή (CT-Simulator set-up).

Ιδανική συνθήκη είναι η σύμπτωση των δύο set-up και ως προς τους τρεις άξονες XYZ. Αυτή θα ήταν σχετικά εύκολη διαδικασία (ταύτιση $X_{\text{linac}} = X_{\text{simulator}}$, $Y_{\text{linac}} = Y_{\text{simulator}}$, $Z_{\text{linac}} = Z_{\text{simulator}}$, εάν δεν υπήρχε η στροφή και η κλίση του σώματος, για τις οποίες δεν υπάρχει μηχανική διορθωτική μετακίνηση. Ας μην λησμονείται το γεγονός ότι η επιτυχία μιας ολοκληρωμένης ακτινοθεραπευτικής προσέγγισης έγκειται στο σχολαστικό και άκρως επαναλήψιμο SETUP της εξομοίωσης και μετουσιώνεται στην πλήρη ταύτιση των καθημερινών CBCT εικόνων προερχόμενες από το SETUP του ασθενούς επί της κλίνης ακτινοθεραπείας.

Με τις συνθήκες αυτές, είμαστε υποχρεωμένοι να δεχθούμε ως κατά συνθήκη ιδεατή θέση της κλίνης, εκείνη η οποία προέρχεται από τις χειροκίνητες μετακινήσεις με στόχο την κατά το δυνατόν προσέγγιση της CT - Simulator set-up. Στόχος του manual matching δεν είναι μόνο να προσεγγίσει ιδανικά την εικόνα της εξομοίωσης, αλλά και να διορθώσει (εάν αυτό καθίσταται εφικτό) τυχόν στροφές και κλίσεις του σώματος του ασθενούς.

Με αυτές τις προϋποθέσεις, ζητούμενο είναι η προσέγγιση της αυτόματης διόρθωσης προς την χειροκίνητη εκπεφρασμένη ποσοτικά σε τιμές % ως προς τις αρχικές τιμές των X_{linac} , Y_{linac} , Z_{linac} :

1. Επιλέχθηκαν 57 κλινικές περιπτώσεις, αντιπροσωπευτικές του Τμήματος Ακτινοθεραπείας: εγκεφάλου (1), λάρυγγα (12), πνεύμονα (15), μαστού (20), ορθού (1), προστάτη (8).
2. Για κάθε εξεταζόμενο όργανο καταγράφονται οι συντεταγμένες (vrt, long, lat) του κέντρου του όγκου (tumor) ως προς το σύστημα XYZ. Το κέντρο των αξόνων της κλίνης ευρίσκεται (= 0,0,0) όταν ο άξονας Z ταυτίζεται με τον άξονα ο οποίος διέρχεται από το κέντρο του “bore” (ισαπέχοντας από την περιφέρεια) και η κλίνη ευρίσκεται εντελώς έξω από το “bore”. Τότε και το κέντρο των εξωτερικών lasers εφάπτεται της κλίνης.

3. Καταγράφεται η διόρθωση MANUAL και η διόρθωση AUTO XYZ για κάθε τοποθέτηση ασθενούς.
4. Εξάγεται η τιμή [MANUAL-AUTO] XYZ για κάθε τοποθέτηση ασθενούς.
5. Εξάγεται η μέση τιμή (AVERAGE) των απόλυτων τιμών [MANUAL-AUTO] XYZ για όλους τους ασθενείς.

Σύμφωνα με την μεθοδολογία των μετρήσεων και την επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτουν οι ακόλουθοι πίνακες.

Πίνακας 6: Συγκεντρωτικός πίνακας όλων των περιστατικών.

Α/α	Ανατομική περιοχή	Manual matching			Auto matching			Διαφορά couch MANUAL - AUTO			ΑΠΟΛΥΤΟ [MANUAL - AUTO]		
		vrt	long	lat	vrt	long	lat	vrt	long	lat	vrt	long	lat
1	λάρυγγας	0,11	0,62	0,04	0,05	0,5	-0,02	0,06	0,12	0,06	0,06	0,12	0,06
2	λάρυγγας	0,24	0,43	0	0,07	0,72	-0,11	0,17	-0,29	0,11	0,17	0,29	0,11
3	λάρυγγας	0,01	-0,18	0,07	0,01	-0,23	0,07	0	0,05	-0,01	0,00	0,05	0,01
4	λάρυγγας	0,06	0,11	-0,08	0,06	0	-0,09	0	0,11	0,01	0,00	0,11	0,01
5	λάρυγγας	0,01	0,31	0,13	0,07	0,43	0,06	-0,06	-0,12	0,07	0,06	0,12	0,07
6	λάρυγγας	-0,02	0,23	-0,24	-0,02	0,58	-0,35	0	-0,35	0,11	0,00	0,35	0,11
7	λάρυγγας	0,1	-0,02	-0,02	0,05	-0,07	-0,02	-0,04	0,05	0	0,04	0,05	0,00
8	λάρυγγας	-0,2	0,29	0,15	-0,14	0,34	0,09	0,06	-0,05	0,06	0,06	0,05	0,06
9	λάρυγγας	0,1	0,49	-0,14	0,04	0,55	-0,23	-0,06	-0,06	0,09	0,06	0,06	0,09
10	λάρυγγας	0,21	0,04	-0,22	0,21	-0,07	-0,16	0	-0,03	0,06	0,00	0,03	0,06
11	λάρυγγας	-0,18	-0,25	0,46	-0,01	-0,02	0,35	0,17	0,23	0,11	0,17	0,23	0,11
12	λάρυγγας	0,1	0,43	0,12	-0,01	0,54	0,01	-0,09	-0,11	0,11	0,01	0,11	0,11
13	εγκέφαλος	-0,08	0,41	-0,03	-0,11	0,33	-0,02	0,03	0,08	0,01	0,03	0,08	0,01
14	πνεύμονας	0,4	-0,58	-0,02	0,35	-0,7	-0,08	0,05	0,12	0,05	0,05	0,12	0,05
15	πνεύμονας	0,03	0,13	-0,48	0,11	0,24	-0,43	-0,05	-0,11	-0,05	0,05	0,11	0,05
16	πνεύμονας	0	0,7	-0,17	0,03	0,63	-0,17	-0,03	0,07	0	0,03	0,07	0,00
17	πνεύμονας	0,77	0,36	-0,41	0,72	0,42	-0,3	0,05	-0,06	0,38	0,05	0,06	0,38
18	πνεύμονας	0,61	0,66	-0,16	0,28	0,38	0	0,33	0,28	0,16	0,33	0,28	0,16
19	πνεύμονας	-0,09	-0,48	0,35	-0,03	-0,31	0,35	0,06	0,17	0	0,06	0,17	0,00
20	πνεύμονας	0,26	-0,4	0,23	0,26	-0,4	0,14	0	0	0,9	0,00	0,00	0,90
21	πνεύμονας	0,74	1,06	0,06	0,46	0,66	0,12	0,28	0,4	-0,6	0,28	0,40	0,60
22	πνεύμονας	0,06	-0,07	0,02	0	0,04	0,08	0,06	-0,03	-0,06	0,06	0,03	0,06
23	πνεύμονας	0,52	-0,74	0,49	0,63	-0,57	0,43	-0,11	0,17	0,6	0,11	0,17	0,60

24	πνεύμονας	0,25	-0,19	0,14	0,25	-0,13	0,14	0	0,06	0	0,00	0,06	0,00
25	πνεύμονας	0,52	0,75	-0,06	0,24	0,58	0,05	0,28	0,17	-0,01	0,28	0,17	0,01
26	πνεύμονας	-0,02	-0,12	0,68	-0,07	0,11	0,62	0,05	0,01	0,6	0,05	0,01	0,60
27	πνεύμονας	0,21	-0,52	0,1	0,27	-0,36	0,1	-0,6	0,16	0	0,60	16,00	0,00
28	πνεύμονας	0,28	-0,1	-0,17	0,17	-0,1	-0,17	0,11	0	0	0,11	0,00	0,00
29	μαστός	0,55	0,04	-0,15	0,5	-0,19	-0,2	-1,05	0,23	0,05	1,05	0,23	0,05
30	μαστός	-0,04	0,45	-0,22	0,01	0,56	-0,16	-0,05	-0,11	-0,05	0,05	0,11	0,05
31	μαστός	0,4	-0,72	-0,4	0,45	-0,84	-0,4	-0,05	-1,88	0	0,05	1,88	0,00
32	μαστός	-0,24	0,12	0,1	-0,13	0,81	0,1	-0,11	0,11	0	0,11	0,11	0,00
33	μαστός	0,49	0,11	0,12	0,33	0,11	0,12	0,16	0	0	0,16	0,00	0,00
34	μαστός	0,45	-0,29	0,16	0,34	-0,29	0,16	0,11	0,7	0	0,11	0,70	0,00
35	μαστός	-0,16	-0,07	-0,52	-0,04	-0,01	-0,41	-0,12	-0,26	-0,11	0,12	0,26	0,11
36	μαστός	-0,62	0,43	0,1	-0,57	0,32	0,03	-0,05	0,11	0,87	0,05	0,11	0,87
37	μαστός	0,58	-0,15	0	0,64	-0,26	0,12	-0,06	0,11	-0,12	0,06	0,11	0,12
38	μαστός	0,27	-0,07	-0,21	-0,4	0,2	0,02	0,67	1,73	-0,23	0,67	1,73	0,23
39	μαστός	0,59	0,79	0,4	0,54	0,36	0,33	0,05	0,43	0,07	0,05	0,43	0,07
40	μαστός	0,53	-0,5	-0,03	0,47	-0,44	0,03	0,06	-0,06	-0,06	0,06	0,06	0,06
41	μαστός	0,21	0,6	-0,1	0,26	0,49	-0,1	-0,5	-0,43	0	0,50	0,43	0,00
42	μαστός	0,23	0,23	0,01	0,34	0,29	0,07	-0,11	-0,6	-0,06	0,11	0,60	0,06
43	μαστός	-0,04	0,55	-0,08	0,02	0,61	-0,08	-0,02	-0,6	0	0,02	0,60	0,00
44	μαστός	-0,48	0,19	-0,11	-0,43	0,25	-0,11	0,5	-0,6	0	0,50	0,60	0,00
45	μαστός	0,06	0,17	0,25	0,06	0,11	0,25	0	0,6	0	0,00	0,60	0,00
46	μαστός	0,43	0,36	0,23	0,43	0,24	0,23	0	0,12	0	0,00	0,12	0,00
47	μαστός	0,71	-0,13	0,08	0,76	-0,24	0,08	-0,5	0,11	0	0,50	0,11	0,00
48	μαστός	0,23	0,42	0,11	0,39	0,3	0,11	-0,16	0,12	0	0,16	0,12	0,00
49	ορθό	-0,07	0,2	-0,09	-0,01	0,25	-0,04	-0,06	-0,05	-0,05	0,06	0,05	0,05
50	προστάτης	-1	0,45	-0,24	-0,94	0,51	-0,24	-0,06	-0,06	0	0,06	0,06	0,00
51	προστάτης	-0,1	-0,11	0,41	0,02	-0,27	-0,12	-0,12	0,16	0,53	0,12	0,16	0,53
52	προστάτης	0,06	-0,14	0,03	0,06	-0,02	-0,03	0	0,12	0	0,00	0,12	0,00
53	προστάτης	0,83	-0,14	-0,38	0,77	-0,09	-0,38	0,6	0,5	0	0,60	0,50	0,00
54	προστάτης	-0,87	0,04	-0,06	-0,81	-0,02	-0,23	0,6	-0,02	0,17	0,60	0,02	0,17
55	προστάτης	0,68	-0,1	0,11	0,62	-0,05	0,11	0,6	0,04	0	0,60	0,04	0,00
56	προστάτης	0,03	0,54	0,32	0,03	0,54	0,26	0	0	0,6	0,00	0,00	0,60
57	προστάτης	0,39	-0,08	0,02	0,33	-0,14	0,02	0,6	0,6	0	0,60	0,60	0,00

0,17 0,52 0,13

ΛΑΡΥΓΓΑΣ

1	λάρυγγας	0,11	0,62	0,04	0,05	0,5	-0,02	0,06	0,12	0,06	0,06	0,12	0,06
2	λάρυγγας	0,24	0,43	0	0,07	0,72	-0,11	0,17	-0,29	0,11	0,17	0,29	0,11
3	λάρυγγας	0,01	-0,18	0,07	0,01	-0,23	0,07	0	0,05	-0,01	0,00	0,05	0,01
4	λάρυγγας	0,06	0,11	-0,08	0,06	0	-0,09	0	0,11	0,01	0,00	0,11	0,01

5	λάρυγγας	0,01	0,31	0,13	0,07	0,43	0,06	-0,06	-0,12	0,07	0,06	0,12	0,07
6	λάρυγγας	-0,02	0,23	-0,24	-0,02	0,58	-0,35	0	-0,35	0,11	0,00	0,35	0,11
7	λάρυγγας	0,1	-0,02	-0,02	0,05	-0,07	-0,02	-0,04	0,05	0	0,04	0,05	0,00
8	λάρυγγας	-0,2	0,29	0,15	-0,14	0,34	0,09	0,06	-0,05	0,06	0,06	0,05	0,06
9	λάρυγγας	0,1	0,49	-0,14	0,04	0,55	-0,23	-0,06	-0,06	0,09	0,06	0,06	0,09
10	λάρυγγας	0,21	0,04	-0,22	0,21	-0,07	-0,16	0	-0,03	0,06	0,00	0,03	0,06
11	λάρυγγας	-0,18	-0,25	0,46	-0,01	-0,02	0,35	0,17	0,23	0,11	0,17	0,23	0,11
12	λάρυγγας	0,1	0,43	0,12	-0,01	0,54	0,01	-0,09	-0,11	0,11	0,01	0,11	0,11

0,05 0,13 0,07

ΠΝΕΥΜΟΝΑΣ

1	πνεύμονας	0,4	-0,58	-0,02	0,35	-0,7	-0,08	0,05	0,12	0,05	0,05	0,12	0,05
2	πνεύμονας	0,03	0,13	-0,48	0,11	0,24	-0,43	-0,05	-0,11	-0,05	0,05	0,11	0,05
3	πνεύμονας	0	0,7	-0,17	0,03	0,63	-0,17	-0,03	0,07	0	0,03	0,07	0,00
4	πνεύμονας	0,77	0,36	-0,41	0,72	0,42	-0,3	0,05	-0,06	0,38	0,05	0,06	0,38
5	πνεύμονας	0,61	0,66	-0,16	0,28	0,38	0	0,33	0,28	0,16	0,33	0,28	0,16
6	πνεύμονας	-0,09	-0,48	0,35	-0,03	-0,31	0,35	0,06	0,17	0	0,06	0,17	0,00
7	πνεύμονας	0,26	-0,4	0,23	0,26	-0,4	0,14	0	0	0,9	0,00	0,00	0,90
8	πνεύμονας	0,74	1,06	0,06	0,46	0,66	0,12	0,28	0,4	-0,6	0,28	0,40	0,60
9	πνεύμονας	0,06	-0,07	0,02	0	0,04	0,08	0,06	-0,03	-0,06	0,06	0,03	0,06
10	πνεύμονας	0,52	-0,74	0,49	0,63	-0,57	0,43	-0,11	0,17	0,6	0,11	0,17	0,60
11	πνεύμονας	0,25	-0,19	0,14	0,25	-0,13	0,14	0	0,06	0	0,00	0,06	0,00
12	πνεύμονας	0,52	0,75	-0,06	0,24	0,58	0,05	0,28	0,17	-0,01	0,28	0,17	0,01
13	πνεύμονας	-0,02	-0,12	0,68	-0,07	0,11	0,62	0,05	0,01	0,6	0,05	0,01	0,60
14	πνεύμονας	0,21	-0,52	0,1	0,27	-0,36	0,1	-0,6	0,16	0	0,60	16,00	0,00
15	πνεύμονας	0,28	-0,1	-0,17	0,17	-0,1	-0,17	0,11	0	0	0,11	0,00	0,00

0,14 1,18 0,23

ΜΑΣΤΟΣ

1	μαστός	0,55	0,04	-0,15	0,50	-0,19	-0,20	-1,05	0,23	0,05	1,05	0,23	0,05
2	μαστός	-0,04	0,45	-0,22	0,01	0,56	-0,16	-0,05	-0,11	-0,05	0,05	0,11	0,05
3	μαστός	0,40	-0,72	-0,40	0,45	-0,84	-0,40	-0,05	-1,88	0,00	0,05	1,88	0,00
4	μαστός	-0,24	0,12	0,10	-0,13	0,81	0,10	-0,11	0,11	0,00	0,11	0,11	0,00
5	μαστός	0,49	0,11	0,12	0,33	0,11	0,12	0,16	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00
6	μαστός	0,45	-0,29	0,16	0,34	-0,29	0,16	0,11	0,70	0,00	0,11	0,70	0,00
7	μαστός	-0,16	-0,07	-0,52	-0,04	-0,01	-0,41	-0,12	-0,26	-0,11	0,12	0,26	0,11
8	μαστός	-0,62	0,43	0,10	-0,57	0,32	0,03	-0,05	0,11	0,87	0,05	0,11	0,87
9	μαστός	0,58	-0,15	0,00	0,64	-0,26	0,12	-0,06	0,11	-0,12	0,06	0,11	0,12
10	μαστός	0,27	-0,07	-0,21	-0,40	0,20	0,02	0,67	1,73	-0,23	0,67	1,73	0,23
11	μαστός	0,59	0,79	0,40	0,54	0,36	0,33	0,05	0,43	0,07	0,05	0,43	0,07
12	μαστός	0,53	-0,50	-0,03	0,47	-0,44	0,03	0,06	-0,06	-0,06	0,06	0,06	0,06

13	μαστός	0,21	0,60	-0,10	0,26	0,49	-0,10	-0,50	-0,43	0,00	0,50	0,43	0,00
14	μαστός	0,23	0,23	0,01	0,34	0,29	0,07	-0,11	-0,60	-0,06	0,11	0,60	0,06
15	μαστός	-0,04	0,55	-0,08	0,02	0,61	-0,08	-0,02	-0,60	0,00	0,02	0,60	0,00
16	μαστός	-0,48	0,19	-0,11	-0,43	0,25	-0,11	0,50	-0,60	0,00	0,50	0,60	0,00
17	μαστός	0,06	0,17	0,25	0,06	0,11	0,25	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60	0,00
18	μαστός	0,43	0,36	0,23	0,43	0,24	0,23	0,00	0,12	0,00	0,00	0,12	0,00
19	μαστός	0,71	-0,13	0,08	0,76	-0,24	0,08	-0,50	0,11	0,00	0,50	0,11	0,00
20	μαστός	0,23	0,42	0,11	0,39	0,30	0,11	-0,16	0,12	0,00	0,16	0,12	0,00

0,22 0,45 0,08

ΠΡΟΣΤΑΤΗΣ

1	προστάτης	-1,00	0,45	-0,24	-0,94	0,51	-0,24	-0,06	-0,06	0,00	0,06	0,06	0,00
2	προστάτης	-0,10	-0,11	0,41	0,02	-0,27	-0,12	-0,12	0,16	0,53	0,12	0,16	0,53
3	προστάτης	0,06	-0,14	0,03	0,06	-0,02	-0,03	0,00	0,12	0,00	0,00	0,12	0,00
4	προστάτης	0,83	-0,14	-0,38	0,77	-0,09	-0,38	0,60	0,50	0,00	0,60	0,50	0,00
5	προστάτης	-0,87	0,04	-0,06	-0,81	-0,02	-0,23	0,60	-0,02	0,17	0,60	0,02	0,17
6	προστάτης	0,68	-0,10	0,11	0,62	-0,05	0,11	0,60	0,04	0,00	0,60	0,04	0,00
7	προστάτης	0,03	0,54	0,32	0,03	0,54	0,26	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,60
8	προστάτης	0,39	-0,08	0,02	0,33	-0,14	0,02	0,60	0,60	0,00	0,60	0,60	0,00

0,32 0,19 0,16

Σύμφωνα με τους ως άνω πίνακες προκύπτει ότι :

Πίνακας 7 : Τελικές απόλυτες τιμές – αποτελέσματα.

	ΑΠΟΛΥΤΟ		
	[MANUAL – AUTO] σε cm		
Άξονες	Vertical	Longitudinal	Lateral
Όλοι οι ασθενείς	0,17	0,52	0,13
Ασθενείς λάρυγγα	0,5	0,13	0,7
Ασθενείς πνεύμονα	0,14	1,18	0,23
Ασθενείς μαστού	0,22	0,45	0,08
Ασθενείς προστάτη	0,32	0,19	0,16

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ:

Απόλυτες τιμές:

Η σύγκριση μεταξύ των δύο τεχνικών ταύτισης (auto – manual matching), καταδεικνύει ότι οι αποκλίσεις που δημιουργούνται από αυτές παραμένουν μικρές και κατά κάποιο τρόπο παρουσιάζουν το ίδιο μοτίβο συμπεριφοράς καθώς ο κύριος στόχος παραμένει πάντα ο ίδιος: Η πλήρης ταύτιση των ανατομικών δομών με το πλάνο θεραπείας και κατ' επέκταση η χορήγηση της ακτινοθεραπευτικής δόσης με την μεγαλύτερη ανατομική ακρίβεια. Οι τιμές των αποκλίσεων κυμαίνονται από 0,08 cm έως 0,52 cm και κατά περίπτωση έως και 1,18 cm.

Σε αυτό το σημείο τίθεται το εξής διπλό εύλογο ερώτημα,

α) εάν μπορούμε να αποδεχτούμε τις αποκλίσεις που προκύπτουν από τις διορθωτικές κινήσεις που προτείνει το « auto matching » και δεν καταφεύγουμε στο « manual matching ».

β) σε ποιές περιπτώσεις επιλέγουμε την μια από την άλλη τεχνική ταύτισης.

Γενικός κανόνας

Το εύρος των αποκλίσεων αποκλείει την καταφυγή σε έναν γενικό κανόνα όπως « όλες οι διορθώσεις μόνο με auto matching » ή « όλες οι διορθώσεις μόνο με manual matching ». Θα αναζητήσουμε υποπεριπτώσεις.

Αποκλίνοντες ανατομικοί άξονες

Συγκρίνοντας κατά περίπτωση το σύνολο των ασθενών αποδεικνύεται ότι ο ανατομικός άξονας ο οποίος εμφανίζει τη μεγαλύτερη διαφορά αποκλίσεων έναντι των υπόλοιπων, είναι ο άξονας του « longitudinal ». Όταν επιλέγεται είτε η μια είτε η άλλη τεχνική, η προσπάθεια διόρθωσης και ταύτισης αυτού του άξονα παραμένει αναγκαία. Η διαφορά αυτή καλύπτει ένα εύρος ελάχιστης τιμής 0,13 cm και μέγιστης τιμής 1,18 cm, σύμφωνα πάντα με την παρούσα μελέτη. Αξίζει να σημειωθεί ότι για κάθε ανατομική περιοχή και περίπτωση, οι παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτή την κατάσταση ώστε ο long άξονας να απαιτεί την μεγαλύτερη ανάγκη διόρθωσης ως προς την ταύτιση με την αρχική εικόνα της εξομοίωσης, διαφέρουν ποικιλοτρόπως.

Λάρυγγας Η μεγαλύτερη δυσκολία στην προσπάθεια ταύτισης των δυο εικόνων έγκειται σε δυο κύριους παράγοντες.

Ο πρώτος παράγοντας έχει να κάνει με την εξομοίωση και κατ' επέκταση με την κατασκευή της θερμοπλαστικής μάσκας που ακινητοποιεί και αναπαράγει επαναλήψιμα την θέση θεραπείας του ασθενούς. Μια άρτια κατασκευασμένη μάσκα υποδηλώνει άψογη εφαρμογή αυτής με την ανατομία της περιοχής. Δεν επιτρέπει στον ασθενή να στρίψει το κεφάλι ως προς καμία κατεύθυνση και κυρίως εφαρμόζει ιδανικά στην περιοχή της αυχενικής μοίρας που δημιουργείται « ανατομικά » κλίση του αυχένα.

Ο δεύτερος παράγοντας αφορά στην πλήρη συνεργασία του ασθενούς και στην κατανόηση της διαδικασίας. Καθώς ο ασθενής, μετά την εφαρμογή της μάσκας οφείλει να προσαρμοστεί μέσα σε αυτή με σκοπό να ταυτιστεί πλήρως με το ανατομικό εκμαγείο που δημιουργεί η μάσκα. Η μη ταύτιση του long άξονα μεταφράζεται με την μη ταύτιση των « targets ». Οι αστοχίες αυτές εμφανίζονται όταν ο ασθενής αδυνατεί να αντιληφθεί τις μικρές κινήσεις που απαιτούνται εντός της μάσκας (π. χ κίνηση πάνω – κάτω για ιδανική εφαρμογή του αυχένα με το « αντίστοιχο head rest », κατάλληλη κίνηση του σαγονιού ώστε να αποφευχθεί η μεγάλη κλίση του αυχένα).

Πνεύμονας/ Μαστός

Η μεγαλύτερη απόκλιση ως προς τον long άξονα οφείλεται κυρίως στην αναπνευστική κίνηση των πνευμόνων. Η τεχνική του αλγόριθμου έγκειται στον υπολογισμό της μέσης τιμής του εύρους της αναπνευστικής κίνησης. Καταγράφει δηλαδή κατά την διάρκεια λήψης του CBCT την μέγιστη και την μικρότερη κίνηση των πνευμόνων με σκοπό να δώσει την μέση τιμή και το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα ταύτισης.

Προστάτης

Το πλήθος των ασθενών με προστάτη εμφανίζει την εξής ιδιαιτερότητα. Όπως προκύπτει από τον παραπάνω συγκεντρωτικό πίνακα, ο ανατομικός άξονας που εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές αποκλίσεων, είναι ο άξονας του «vertical». Σε αυτό συμβάλλει η ιδιαιτερότητα της ανατομικής περιοχής και η διαδικασία του SETUP. Πιο συγκεκριμένα:

α) Στην προσπάθεια ευθυαισμού του σώματος του ασθενούς – κατά το setup – και στην ταύτιση των tattoos με το σύστημα των laser του γραμμικού επιταχυντή, ο ασθενής « σφίγγεται » με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια λανθάνουσα εκτίμηση για την θέση σώματος του ίδιου. Η ανατομική διαφορά αποδεικνύεται από τις υψηλές τιμές που εμφανίζει ο άξονας του vertical (0,32 cm). Όσο η διαδικασία εξελίσσεται, ο ασθενής χαλαρώνει με αποτέλεσμα να αλλάζει η θέση του συλλήβδην.

β) Ο δεύτερος παράγοντας αφορά στην απώλεια κιλών και σωματικής μάζας του ασθενούς. Με την πάροδο του χρόνου, κατά ένα πλήρες ακτινοθεραπευτικό πρωτόκολλο, ο ασθενής ενδέχεται να απολέσει κάποια κιλά καθώς ακολουθεί και συγκεκριμένο διαιτολόγιο στα πλαίσια των ιατρικών οδηγιών. Έτσι λοιπόν όταν η απώλεια κιλών είναι πλέον εμφανής από το σύστημα, η προσπάθεια ταύτισης των δομών (targets & OARs) από πλευράς αλγορίθμου είναι μεγάλη ιδίως για τον κατακόρυφο άξονα (vertical).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας πλέον μια σφαιρική εικόνα των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν από αυτή την στατιστική μελέτη προέκυψαν τα κάτωθι ερωτήματα.

Είναι αποδεκτές οι διορθωτικές κινήσεις ως προς το couch, που προτείνει η τεχνική της αυτόματης ταύτισης « auto matching » ?

Κρίνοντας πάντα εκ των αποτελεσμάτων, οι αποκλίσεις που προκύπτουν (για όλους τους ανατομικούς άξονες) και με τις δυο τεχνικές ταύτισης δεν διαφέρουν ιδιαίτερα. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας ανάλυσης των εικόνων του CBCT κρίνεται πάντα κατά περίπτωση πού θα στραφεί το ενδιαφέρον της πλήρους ταύτισης. Σε αυτό το σημείο υπερισχύει η υποκειμενική οπτική της ανάλυσης και κατ επέκταση της αποδοχής των τελικών εικόνων του CBCT (συμπεριλαμβανομένων των διορθώσεων είτε του auto είτε του manual matching).

Πιο συγκεκριμένα, το ιδανικό σενάριο για μια άκρως επιτυχημένη ακτινοθεραπευτική συνεδρία (τόσο ανατομικά όσο και δοσιμετρικά) είναι η πλήρης ταύτιση όλων των ανατομικών δομών. Αυτό δεν είναι πάντα εφικτό. Δεν είναι πάντα εφικτό καθώς υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που διαμορφώνουν το τελικό αποτέλεσμα.

Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να είναι:

- Μια κακή τοποθέτηση κατά την διαδικασία του SETUP του ασθενούς, δημιουργώντας μεγάλες αποκλίσεις κατά την ανατομική σύγκριση.
- Αδυναμία συνεργασίας του ασθενούς με την όλη διαδικασία λόγω έντονου πόνου ή γενικότερης κατάπτωσης.
- Τέλος οι ανατομικές αλλαγές που υφίσταται το σώμα του ασθενούς (π.χ απώλεια κιλών) δημιουργούν αστοχίες ταύτισης των δυο εικόνων.

Έτσι λοιπόν, όταν η τελική εικόνα του CBCT – έχοντας υποστεί διορθώσεις κατά το auto matching – μας ικανοποιεί, εξυπηρετεί δηλαδή τις προϋποθέσεις μιας επιτυχημένης θεραπείας (πλήρης ταύτιση των targets προς ακτινοβολήση και ταυτόχρονη προφύλαξη των OARs), τότε είμαστε σε θέση να αποδεχτούμε την τεχνική του auto matching.

Σε διαφορετική περίπτωση, εάν το τελικό αποτέλεσμα κρίνεται μη αποδεκτό, εκμεταλλευόμαστε την ελευθερία κινήσεων που προσφέρει η τεχνική του manual matching. Εστιάζοντας πάντα κατά περίπτωση στις ανατομικές δομές που χρήζουν περαιτέρω διόρθωσης και ταύτισης.

Ποιος ανατομικός άξονας εμφανίζει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις που χρήζουν άμεσης διόρθωσης ?

Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων αποδεικνύεται ότι ο ανατομικός άξονας του « longitudinal » εμφανίζει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις οι οποίες απαιτούν περισσότερες διορθώσεις. Όπως αναλύθηκε παραπάνω (βλέπε κεφάλαιο αποτελεσμάτων) ο long άξονας είναι αυτός που « ταλανίζει » τον αλγόριθμο ταύτισης για κάθε ανατομική περιοχή. Οι συνιστώσες που είναι σε θέση να διαμορφώσουν το τελικό αποτέλεσμα της απεικονιστικής διαδικασίας διαφέρουν από περίπτωση σε περίπτωση και από ανατομική περιοχή σε άλλη.

Κατά την ανατομία των περιπτώσεων **κεφαλής και τραχήλου** η κλίση του αυχένα καθώς επίσης και η θέση του σαγονιού ως προς την τέλεια εφαρμογή με την θερμοπλαστική μάσκα ακινητοποίησης, δημιουργούν τις μεγαλύτερες αστοχίες ταύτισης των δυο εικόνων. Το γεγονός αυτό μεταφράζεται με τις μεγάλες αποκλίσεις που εμφανίζει ο long άξονας.

Παράλληλα σε πλήθος ασθενών με νεοπλασία του **πνεύμονα** ή του **μαστού**, ο long άξονας είναι αυτός που παρουσιάζει τις μεγαλύτερες αποκλίσεις. Είναι ο long άξονας που απαιτεί μεγαλύτερη προσπάθεια ταύτισης των ανατομικών δομών της περιοχής. Σε αυτή την κατάσταση συμβάλλει η αναπνευστική κίνηση, η οποία είναι αυτή που διαμορφώνει και το τελικό αποτέλεσμα. Μια βαθιά εισπνοή, ένας γρήγορος καρδιακός ρυθμός διαταράσσουν τον αναπνευστικό κύκλο και κατ' επέκταση το τελικό αποτέλεσμα όπως αυτό αποτυπώνεται από την εικόνα του CBCT.

Ωστόσο, όσον αφορά στον **προστάτη**, αν και οι αποκλίσεις ως προς τον ανατομικό long άξονα παραμένουν σχετικά μικρές, οι περισσότερες διορθώσεις που απαιτούνται με γνώμονα την τελική εικόνα αφορούν σε αυτόν τον άξονα (long). Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η ακινητοποίηση του ασθενούς – για την συγκεκριμένη ανατομική περιοχή – αν και φαντάζει καθηλωτική και επαναλήψιμη ως προς το καθημερινό SETUP δημιουργεί αστοχίες ταύτισης ιδιαίτερα ως προς τον long άξονα. Η ακινητοποιητική συσκευή που ονομάζεται « knee fix » είναι ικανή να διαταράξει την συνολική εικόνα. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να καθιλώσει τον ασθενή σε μια θέση δημιουργώντας μεγάλη κλίση ως προς τον άξονα του « pitch ». Ο άξονας αυτός εκ των πραγμάτων δεν δύναται να διορθωθεί. Κατά την ανάλυση των εικόνων και πάντα με υποκειμενικό κριτήριο αξιολόγησης, μέσω της τεχνικής του manual matching, ο άξονας που μπορεί να διορθώσει αυτή την αστοχία κατά προσέγγιση της αρχικής εικόνας είναι ο long άξονας. Αυτός είναι ο λόγος που χρήζει περαιτέρω διερεύνησης και διόρθωσης έστω και με μικρές αποκλίσεις όπως φαίνεται και από τα τελικά αποτελέσματα.

Τέλος, ως προς απάντηση του βασικού ερωτήματος, εάν δηλαδή οι βέλτιστες μετακινήσεις – διορθώσεις επιτυγχάνονται με την τεχνική του auto ή manual matching ?

Όπως έχει ήδη αναφερθεί παραπάνω, η παρούσα διπλωματική εργασία στήριξε τα κλινικά αποτελέσματα στον διαθέσιμο ιατρικό – τεχνολογικό εξοπλισμό της κλινικής που στεγάζει το τμήμα Ακτινοθεραπείας που έλαβε χώρα η συγκεκριμένη έρευνα.

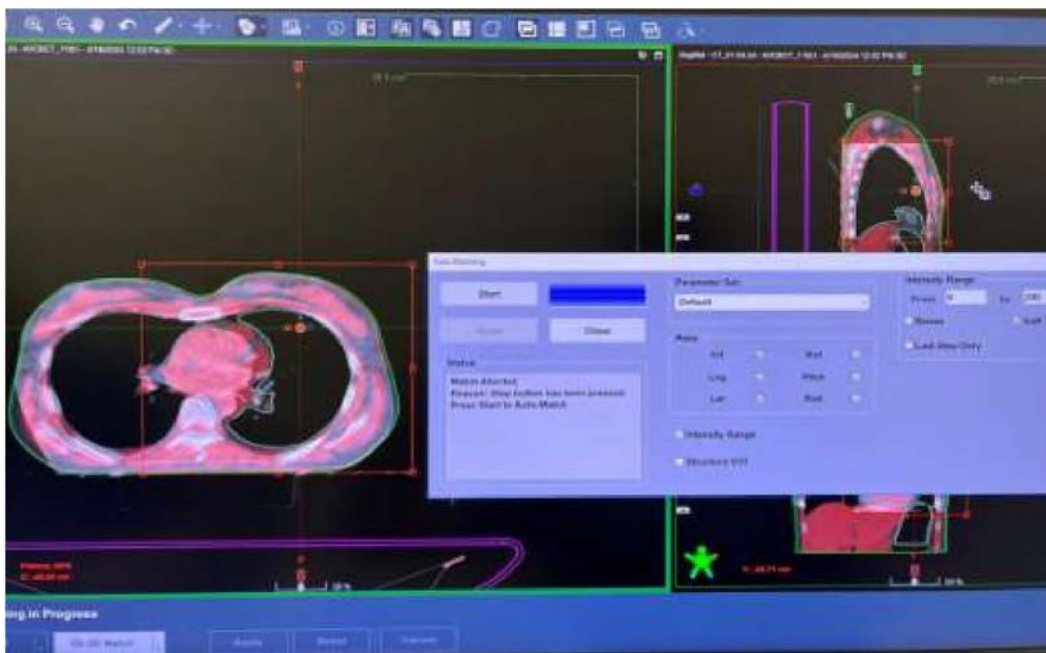
Είναι σημαντικό να επισημανθεί ότι το couch θεραπείας που συνοδεύει τον γραμμικό επιταχυντή (Halcyon), είναι συμβατικό. Υποστηρίζει δηλαδή την κίνηση ως προς του τρεις κύριους ανατομικούς άξονες (vertical, long, lateral). Άρα εξ' ορισμού το συγκεκριμένο couch δεν δύναται να πραγματοποιήσει διορθωτικές κινήσεις είτε

αυτόματες είτε χειροκίνητες που αφορούν σε κλίσεις ή στροφές στο σώμα του ασθενούς (pitch, roll, rotation). Οι διορθώσεις αυτές πραγματοποιούνται με τα λεγόμενα couch « στερεοταξίας », τα οποία προσφέρουν έξι επιπλέον κινήσεις που αφορούν πλέον στην κλίση και στην στροφή του couch και κατ επέκταση στον ίδιο τον ασθενή.

Σκοπός της καθημερινής απεικόνισης – ελέγχου θέσης του ασθενούς, είναι η χορήγηση της καθημερινής ακτινοθεραπευτικής δόσης χωρίς εκπτώσεις και απώλειες. Αυτό προϋποθέτει την πλήρη ταύτιση των εικόνων μεταξύ CT εξομοίωσης και καθημερινού CBCT. Ως προς την επίτευξη αυτού το στόχου, η λήψη του καθημερινού CBCT μας παρέχει την δυνατότητα να ελέγχουμε την θέση του σώματος του ασθενούς επί της κλίνης και να την διορθώνουμε όπου κρίνεται απαραίτητο πριν την χορήγηση της θεραπείας. Όταν οι διορθωτικές κινήσεις του couch αφορούν στους τρεις άξονες X, Y, Z αυτές εκτελούνται είτε αυτόματα είτε χειροκίνητα.

Σε αντίθετη περίπτωση κατά την οποία η προσπάθεια ταύτισης των δύο εικόνων κρίνεται αδύνατη, οι τεχνολόγοι ακυρώνουν την πρώτη προσπάθεια και προχωρούν σε επανατοποθέτηση του ασθενούς. Άρα σε περιπτώσεις μεγάλων στροφών και κλίσεων στο σώμα του ασθενούς, δυσχεραίνουν την διαδικασία ταύτισης καθώς το σύστημα αποτυγχάνει να ταυτίσει τις ανατομικές δομές που κρίνονται σημαντικές σύμφωνα με το ακτινοθεραπευτικό πλάνο θεραπείας και να προτείνει διορθωτικές κινήσεις για το couch.

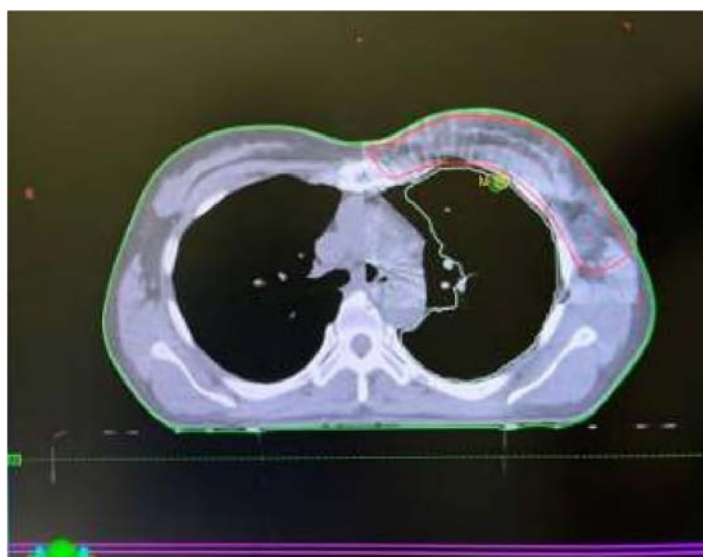
Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία της απεικόνισης (CBCT) ο αλγόριθμος του συστήματος επιχειρεί να προτείνει την καλύτερη δυνατή θέση θεραπείας (θέση couch) με βάση την τοποθέτηση του ασθενούς. Επιχειρώντας πάντα να ταυτίσει τις δύο εικόνες (CT – simulator – καθημερινό CBCT) (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Εικόνα CBCT, ταύτιση και σύγκριση των δύο εικόνων.

Το σύστημα αυτόματα εκτελεί « auto matching». Όταν πλέον η εικόνα είναι έτοιμη ως προς έλεγχο (ελέγχουμε την ταύτιση του σώματος), τα targets, να βρίσκονται εντός ορίων του σχεδιασμένου πλάνου θεραπείας, καθώς και τα OARs – organs at risk να μην ακτινοβολούνται ατελώς.

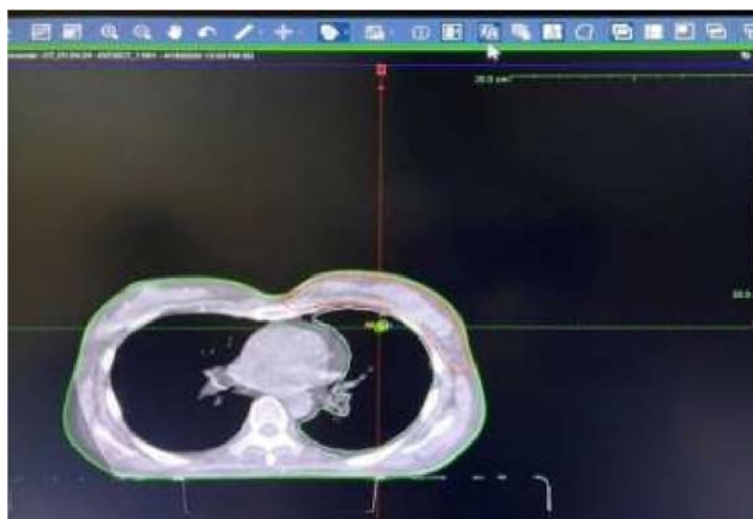
Σε αυτό το στάδιο λίγο πριν ξεκινήσει ο ενδεδειγμένος και λεπτομερής έλεγχος των προαναφερθέντων παραμέτρων, εκτιμάται η συνολική εικόνα του SETUP του ασθενούς. Ελέγχεται με την εμφάνιση του ενεργού παραθύρου (βλέπε εικόνα 11), που αντιστοιχεί στην θέση της εκάστοτε συνεδρίας. Ελέγχεται η ύπαρξη στροφών και κλίσεων στο σώμα του ασθενούς.



Εικόνα 11: Εικόνα CBCT, ταύτιση και σύγκριση των δύο εικόνων. Εμφανές το ενεργό παράθυρο.

Ωστόσο, αν και γνωρίζουμε εξ αρχής ότι ο αλγόριθμος αδυνατεί στην προσπάθεια να προτείνει διορθώσεις θέσης που αφορούν σε αυτούς τους άξονες, εκμεταλλευόμαστε την δυνατότητα των manual διορθώσεων. Το κριτήριο των διορθωτικών κινήσεων παραμένει υποκειμενικό καθώς οποιαδήποτε αλλαγή παραμένει ένας συμβιβασμός στην προσπάθεια ταύτισης των δύο εικόνων.

Η δυνατότητα του manual matching προσφέρει στον εκάστοτε « έμπειρο » χειριστή τη δυνατότητα να προτείνει κάποιες διορθωτικές κινήσεις βελτιώνοντας την τελική θέση του couch σε σχέση με το ισόκεντρο της θεραπείας που προτείνεται πάντα από το προσχεδιασμένο πλάνο θεραπείας. Ακόμα και με το manual matching οι κλίσεις και οι στροφές δεν δύναται να διορθωθούν. Απλώς το εργαλείο του manual matching είναι σε θέση να προσεγγίσει – κατά συνθήκη – όσο πιο πιστά είναι εφικτό τις εικόνες των δύο SETUP (Εικόνα 12).



Εικόνα 12: Ο κέρσορας υποδεικνύει την δυνατότητα επιλογής των δύο εργαλείων ταύτισης, (auto – manual matching).

Παρόλα αυτά, αν το τελικό αποτέλεσμα (προερχόμενο είτε από την μια τεχνική ταύτισης είτε από την άλλη) δεν είναι το επιθυμητό και το αναμενόμενο, η διαδικασία ακυρώνεται και επαναλαμβάνεται από την αρχή.

Συμπερασματικά, κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί πως δεν υπάρχει μια ξεκάθαρη και σαφή απάντηση ως προς αυτό το ερώτημα. Το τελικό αποτέλεσμα ως προς την χορήγηση της καθημερινής ακτινοθεραπευτικής δόσης αξιολογείται κατά περίπτωση από υποκειμενικά κριτήρια. Έχοντας ως γνώμονα το άρτια εκτελεσμένο πλάνο θεραπείας, είμαστε σε θέση να αξιολογούμε κάθε φορά την τελική εικόνα που προκύπτει από τις διορθώσεις και των δυο τεχνικών ταύτισης. Αποδεχόμαστε κατά

περίπτωση την εικόνα εκείνη που εξυπηρετεί κατά το δυνατό περισσότερο το στόχο της ακτινοθεραπευτικής προσέγγισης, είτε εκείνη προκύπτει από την τεχνική διόρθωσης του auto είτε εκείνη του manual matching.

Βιβλιογραφία

1. Delaney G et al. The role of radiotherapy in cancer treatment: Estimating optimal utilization from are view of evidence-based clinical guidelines. *Cancer*, 2005, 104:1129–1137.
2. RANZCR Maintenance of Certification / Revalidation Audit Instrument. (www.ranzcr.edu.au/documents, accessed 4 August 2008).
3. Toft B, Mascie -Taylor H. Involuntary automaticity: a work-system induced risk to safe health care. *Health Services Management Research*, 18: 211–216.
4. Mancosu P., Fogliata A., Stravato A., Tomatis S., Cozzi L., Scorsetti M. Accuracy evaluation of the optical surface monitoring system on EDGE linear accelerator in a phantom study. *Medical Dosimetry*. 2016;41(2):173–179. doi: 10.1016/j.meddos.2015.12.003.
5. Sarkar B, Roy J, Manikandan A. In regard to Onimaru. *et al.* *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2015;93:1166.
6. Chen. *Variable selection for Gaussian mixture model-based clustering and its application* . Lanzhou University; 2021
7. Alonso-Arrizabalaga, et al. Prostate planning treatment volume margin calculation based on the ExacTrac X-Ray 6D image-guided system: margins for various clinical implementations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2007;69:936–43.
8. Ludbrook JJS, et al. Correction of systematic setup errors in prostate radiation therapy: how many images to perform? *Med Dosim*. 2005;30:76–84
9. Yan D, et al. An off-line strategy for constructing a patient-specific planning target volume in adaptive treatment process for prostate cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2000;48:209–302.
10. De Boer JCJ, et al. A new approach to off-line setup corrections: combining safety with minimum workload. *MedPhys*. 2002;29:1998–2012.
11. De Boer HC, Heijmen BJ. eNAL: an extension of the NAL setup correction protocol for effective use of weekly follow-up measurements. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2007;67:1586–95. doi: 10.1016/j.ijrobp.2006.11.050.

12. Bel A, van Herk M, Bartelink H, Lebesque JV. A verification procedure to improve patient set-up accuracy using portal images. *Radiother Oncol.* 1993;29:253–60.
13. El-Mohri Y, Jee K-W, Antonuk LE, Maolinbay M, Zhao Q. Determination of the detective quantum efficiency of a prototype, megavoltage indirect detection, active matrix flat-panel imager. *Med Phys.* 2001;28:2538–2550.
14. Sun B, Goddu SM, Yaddanapudi S, Noel C, Li H, Cai B, et al. Daily QA of linear accelerators using only EPID and OBI. *MedPhys.* 2015;42:5584–94.
15. Wang Y, Heaton R, Norrlinger B, Islam M. Quality assurance of electron beams using a Varian electronic portal imaging device. *PhysMedBiol.* 2013;58:5461–75.
16. Jaffray DA and Siewerdsen JH. Cone-beam computed tomography with a flat panel imager: initial performance characterization. *MedPhys.* 2000;27(6):1311–23.
17. Jaffray DA, Siewerdsen JH, Wong JW, Martinez A. Flat-panel cone-beam computed tomography for image-guided radiation therapy. *Int J RadiatOncolBiolPhys.* 2002;53(5):1337–49.
18. Fahrig R, Dixon R, Payne T, Morin R, Ganguly A, Strobel N. Dose and image quality for a cone-beam C-arm CT system. *Med Phys.* 2006;33(12):4541–50.
19. Gayou O, Parda D, Johnson M, Miften M. Patient dose and image quality from mega-voltage cone beam computed tomography imaging. *Med Phys.* 2007;34(2):499–506.
20. Stützel J, Oelfke U, Nill S. A quantitative image quality comparison study of four different image guided radiotherapy devices. *Radiother Oncol.* 2008;86(1):20–24.
21. Wen N, Guan H, Hammoud R, et al. Dose delivered from Varian's CBCT to patients receiving IMRT for prostate cancer. *Phys Med Biol.* 2007;52(8):2267–76.
22. Hansen, E.K.; Bucci, M.K.; Quivey, J.M.; et al. Repeat CT imaging and replanning during the course of IMRT for head-and-neck cancer. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2006. 62– 64:355.
23. Chow, J.C.L.; Jiang, R. Dosimetry estimation on variations of patient size in prostate volumetric modulated arc therapy. *Med. Dosim.* 2013. 38:42-7.

24. Klein, E.E.; Drzymala, R.E.; Purdy, J.A.; et al. Errors in radiation oncology: A study in pathways and dosimetric impact. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* 2005. 6:81–94.