3° Πανελλήνιο Συνέδριο
Ιατρικής Φυσικής

27° Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο
Ακτινολογίας

Δοσιμετρικές και ραδιοβιολογικές παράμετροι για διαφορετικές τεχνικές ακτινοθεραπείας για μη μικροκυτταρικό καρκίνο πνεύμονα: Ανάλυση της έκθεσης της καρδιάς

Ιωάννης Ασημακόπουλος[1], Στέφανος Κάχρης[2], Μιχάλης Μαζωνάκης[1]

[1] Εργαστήριο Ιατρικής Φυσικής, Ιατρική Σχολή, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ηράκλειο

[2] Τμήμα Ακτινοθεραπείας και Ογκολογίας, Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο Ηρακλείου

Επικοινωνία: mazonak@uoc.gr

30, 31 ΟΚΤ + 1 ΝΟΕ
2026

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
- ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ, ΛΑΡΙΣΑ

Οργάνωση

ΕΦΙΕ
Ένωση Φυσικών Ιατρικής Ελλάδος

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΟΛΛΕΓΙΟ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ

Εισαγωγή

Ο **καρκίνος του πνεύμονα** είναι ο συχνότερα διαγνωσμένος καρκίνος παγκοσμίως (12.4%) και η κύρια αιτία θανάτου από καρκίνο (18.7%) [1]. Η ακτινοθεραπεία του θώρακα όμως εκθέτει και την καρδιά.

~20%

των ασθενών με καρκίνο πνεύμονα που υποβάλλονται σε ακτινοθεραπεία (ΑΚΘ) εμφανίζουν **καρδιακά προβλήματα** [2]

11–32%

ποσοστό **συμπτωματικών καρδιακών επεισοδίων** που παρατηρούνται 2 έτη μετά την ολοκλήρωση της ΑΚΘ [2]

V5Gy & V30Gy

της καρδιάς: ανεξάρτητοι αρνητικοί προγνωστικοί δείκτες επιβίωσης στη μελέτη RTOG 0617 [3]

Η μέση δόση καρδιάς (Mean Heart Dose, MHD) δεν αρκεί ως δείκτης καρδιακού κινδύνου: η V15Gy (ποσοστό του όγκου που λαμβάνει ≥ 15 Gy) της αριστερής πρόσθιας κατιούσας στεφανιαίας αρτηρίας (LAD) προβλέπει τον κίνδυνο καλύτερα από τη MHD [4].

Σκοπός

1 Σύγκριση

5 τεχνικών ακτινοθεραπείας (IMRT, VMAT) σε 26 ασθενείς με τοπικά προχωρημένο μη μικροκυτταρικό καρκίνο πνεύμονα (LA-NSCLC)

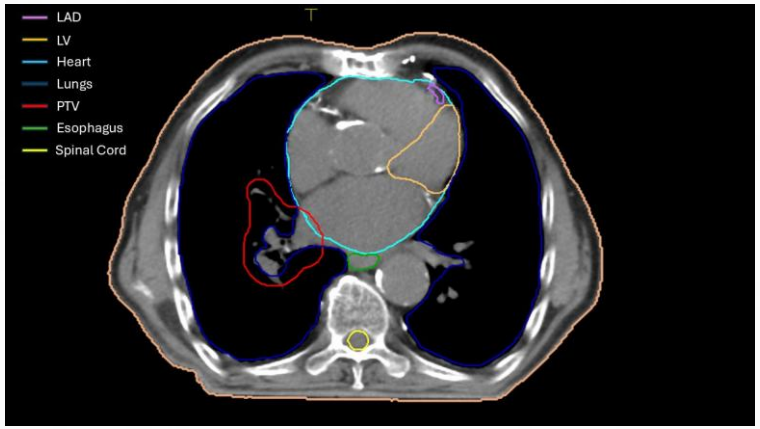
2 Βελτιστοποίηση

Επανασχεδιασμός της 9F-IMRT (9 πεδία) με περιορισμούς δόσης στη LAD και στην αριστερή κοιλία (LV)

3 Ραδιοβιολογία

Υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης επιπλοκών των υγιών ιστών (NTCP, Normal Tissue Complication Probability)

Μέθοδοι & Υλικά



Στόχος (PTV) και όργανα σε κίνδυνο (OARs) στην CT

Ασθενείς: 26 σταδίου III, όγκος δεξιά 54%, αριστερά 46%

PTV: 462 ± 228 cm³ · **TPS:** Monaco 5.11

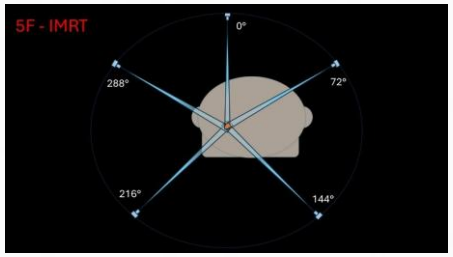
LAD/LV: οριοθέτηση κατά τον άτλαντα Duane [5]

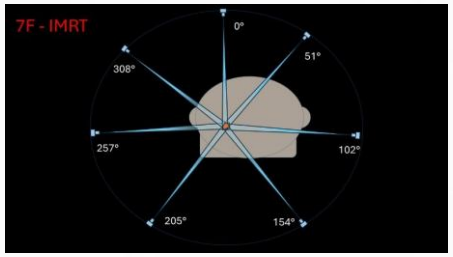
Γραμμικός επιταχυντής: Elekta Infinity, 6 MV

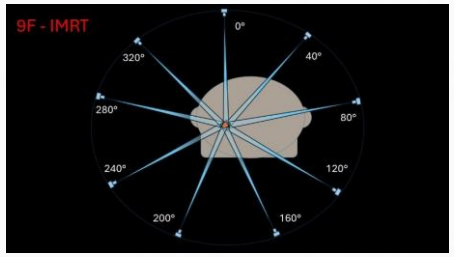
Δόση PTV: 64.8 Gy σε 36 συνεδρίες (1.8 Gy ανά συνεδρία)

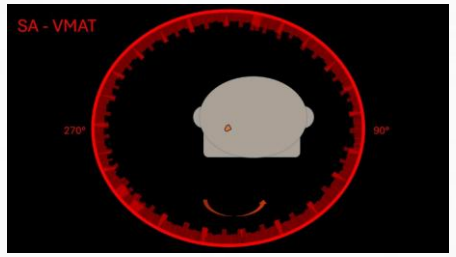
Περιορισμοί δόσης για OARs: οδηγίες NCCN [6]

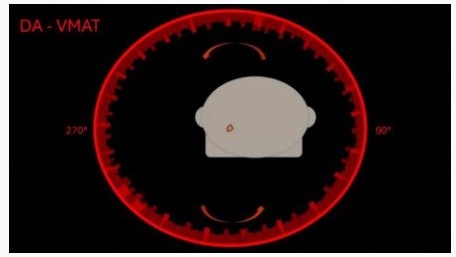
IMRT (ακτινοθεραπεία διαμορφούμενης έντασης): 5, 7, 9 πεδία · VMAT (ογκομετρικά διαμορφούμενη τοξοειδής): 1 και 2 τόξα











130 πλάνα: 5 τεχνικές × 26 ασθενείς.
Επιλογή της βέλτιστης τεχνικής

9F-IMRT Opt: νέος σχεδιασμός σε 14 ασθενείς με περιορισμούς LAD/LV

NTCP: μοντέλο EUD [7]

$$\text{EUD} = [\sum_{i=1} V_i \cdot (\text{EQD}_i)^a]^{1/a}$$

Αποτελέσματα

Η 9F-IMRT επιβαρύνει λιγότερο τη LAD, τους πνεύμονες και τον οισοφάγο· ο επανασχεδιασμός της μειώνει την V15Gy στη LAD και στη LV κατά 59–62%

Σύγκριση 5 τεχνικών (n = 26): μέση τιμή ± SD

Τεχνική	Καρδιά, μέση δόση (Gy)	LAD V15Gy (%)	Πνεύμονες V20Gy (%)	Οισοφάγος, μέση δόση (Gy)
5F-IMRT	**9.39 ± 5.79**	36.0 ± 27.7	31.8 ± 6.5	24.36 ± 6.17
7F-IMRT	9.39 ± 5.72	39.1 ± 29.7	31.1 ± 5.7	24.36 ± 6.25
9F-IMRT	9.49 ± 5.91	**35.8 ± 28.4**	**30.5 ± 5.4**	**23.90 ± 6.49**
SA-VMAT	9.88 ± 6.01	38.7 ± 28.8	30.9 ± 6.0	25.15 ± 6.29
DA-VMAT	9.73 ± 5.95	39.1 ± 28.3	31.9 ± 5.6	25.04 ± 6.32

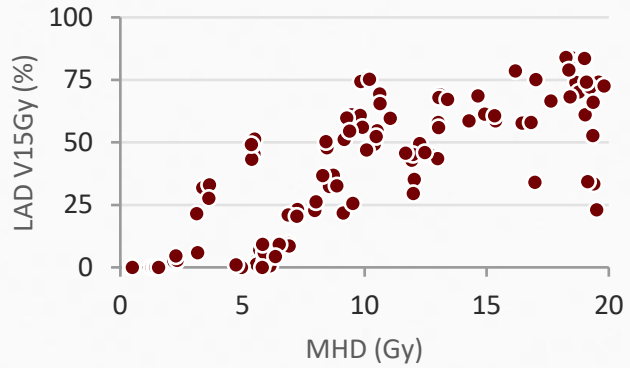
Με τη βελτιστοποίηση (9F-IMRT Opt, n = 14), η δόση στην καρδιά και στις καρδιακές υποδομές μειώθηκε κατά 23–62% σε σχέση με το αρχικό πλάνο 9F-IMRT

Καρδιά · μέση δόση
−22.8%
p < 0.001
13.46 → 10.40 Gy

LAD · V15Gy
−59.3%
p < 0.001
55.5 → 22.6%

LV · V15Gy
−62.2%
p < 0.001
14.8 → 5.6%

Χαμηλή MHD ≠ χαμηλή δόση στη LAD



~80%

Μεγάλη διακύμανση της V15Gy για την LAD, ακόμα και όταν η μέση δόση της καρδιάς είναι ≤ 10Gy

NTCP: μεταβολή μετά τη βελτιστοποίηση

Καρδιά
−37.5%
p = 0.003
0.08 → 0.05%

Οισοφάγος
+5.6%
p = 0.026
3.42 → 3.61%

Πνεύμονες
+7.1%
p = 0.190
5.09 → 5.45%

Συμπεράσματα

1 **Προτιμότερη τεχνική: 9F-IMRT**

Επαρκής κάλυψη του στόχου και χαμηλότερη δόση στη LAD, στους πνεύμονες και στον οισοφάγο σε σχέση με τις υπόλοιπες τεχνικές.

2 **Η MHD δεν είναι αντιπροσωπευτικός δείκτης της επιβάρυνσης των κρίσιμων καρδιακών δομών**

Κλινικά αποδεκτά πλάνα μπορεί να δίνουν υψηλές δόσεις στη LAD και στην LV, ακόμη και με χαμηλή MHD.

3 **Ο επανασχεδιασμός της 9F-IMRT με περιορισμούς LAD/LV αποδίδει**

Μείωση της V15Gy κατά 59.3% στη LAD και κατά 62.2% στην LV, και του NTCP της καρδιάς κατά 37.5%, με ήπια αύξηση σε οισοφάγο και πνεύμονες.

4 **Κλινική εφαρμογή**

Οριοθέτηση της LAD και της LV σε κάθε ασθενή και χρήση τους, ως περιορισμών δόσης κατά τον σχεδιασμό της ακτινοθεραπείας.

Βιβλιογραφία

1. Bray F, et al. Global Cancer Statistics 2022: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. CA. Cancer J. Clin. 2024, 74, 229–263.

2. Walls GM, et al. Cardiotoxicity Following Thoracic Radiotherapy for Lung Cancer. Br. J. Cancer 2025, 132, 311–325.

3. Bradley JD, et al. Standard-Dose versus High-Dose Conformal Radiotherapy with Concurrent and Consolidation Carboplatin plus Paclitaxel with or without Cetuximab for Patients with Stage IIIA or IIIB Non-Small-Cell Lung Cancer (RTOG 0617): A Randomised, Two-by-Two Factorial Phase 3 Study. Lancet Oncol. 2015, 16, 187–199.

4. Atkins KM, et al. Mean Heart Dose Is an Inadequate Surrogate for Left Anterior Descending Coronary Artery Dose and the Risk of Major Adverse Cardiac Events in Lung Cancer Radiation Therapy. Int. J. Radiat. Oncol. 2021, 110, 1473–1479.

5. Duane F, et al. A Cardiac Contouring Atlas for Radiotherapy. Radiother. Oncol. 2017, 122, 416–422.

6. Riely GJ, et al. Non–Small Cell Lung Cancer, Version 4.2024. J. Natl. Compr. Canc. Netw. 2024, 22, 249–274.

7. Mazonakis M, et al. Automatic Radiobiological Comparison of Radiation Therapy Plans: An Application to Gastric Cancer. Cancers 2022, 14, 6098.