3° Πανελλήνιο Συνέδριο
Ιατρικής Φυσικής

27° Διαπανεπιστημιακό Συνέδριο
Ακτινολογίας

Δημιουργία, Εκπαίδευση και Εφαρμογή Knowledge Based Planning (KBP) Μοντέλων σε VMAT Πλάνα Ακτινοθεραπείας

Δημήτριος Χριστοφής[1], Γιώργος Πατατούκας[1], Κυβέλη Ζουράρη[1], Μαρίνα Χαλκιά[1], Νίκος Κολλάρος[1], Βασίλειος Κουλουλίας[2], Άννα Ζυγογιάννη[2], Καλλιόπη Πλατώνη[1]

[1]Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Ιατρικής Φυσικής, Ιατρική Σχολή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, ΠΓΝ «Αττικόν», Αθήνα, Ελλάδα

[2]Εργαστήριο Κλινικής Ακτινοθεραπευτικής Ογκολογίας, Ιατρική Σχολή, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, ΠΓΝ «Αττικόν», Αθήνα, Ελλάδα

30, 31 ΟΚΤ + 1 ΝΟΕ
2026

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
- ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ, ΛΑΡΙΣΑ

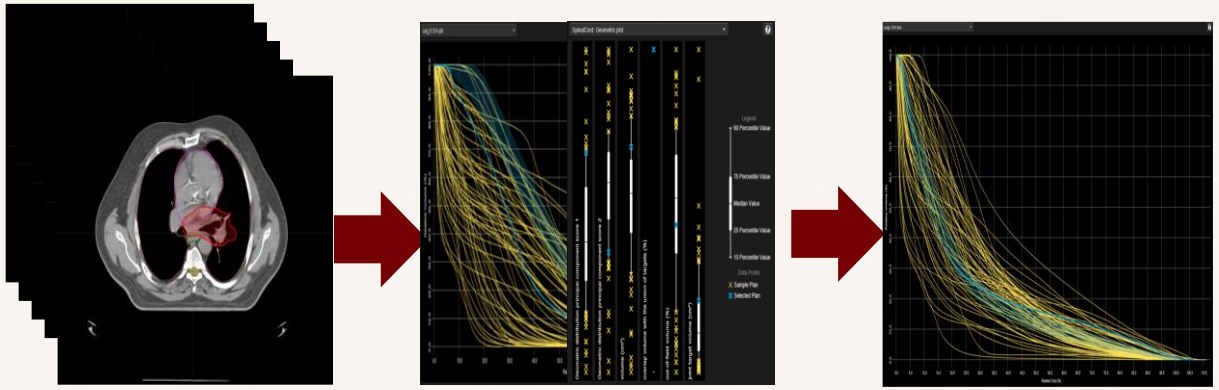
Οργάνωση

ΕΦΙΕ
Ένωση Φυσικών Ιατρικής Ελλάδος

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΟΛΛΕΓΙΟ ΑΚΤΙΝΟΛΟΓΙΑΣ

Εισαγωγή

Το **Knowledge-Based Planning (KBP)** αποτελεί εφαρμογή της **Τεχνητής Νοημοσύνης [Artificial Intelligence (AI)]** και αξιοποιεί τεχνικές **Μηχανικής Μάθησης (Machine Learning)** για τη **βελτιστοποίηση του σχεδιασμού ακτινοθεραπείας**[1]. Αναλύοντας γεωμετρικά και δοσιμετρικά χαρακτηριστικά πλάνων υψηλής ποιότητας, τα KBP μοντέλα εκπαιδεύονται στην πρόβλεψη των **Dose-Volume Histograms (DVH)** νέων ασθενών[2] (*Εικόνα 1*). Στην παρούσα μελέτη, διερευνάται η εφαρμογή του KBP **σε πλάνα ακτινοθεραπείας πνεύμονα με Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT)**. Η χρήση τους μπορεί να μειώσει το ***inter-planning variability*** και τον **χρόνο σχεδιασμού**, βελτιώνοντας παράλληλα τη **δοσιμετρική ποιότητα**.



Εικόνα 1: Ροή εκπαίδευσης KBP μοντέλου.

Σκοπός: Η **ανάπτυξη** και **αξιολόγηση KBP μοντέλων** με βάση την επίδραση του **αλγορίθμου υπολογισμού δόσης** και των **outliers**, καθώς και η διερεύνηση της **προβλεπτικής ικανότητας** σε νέα ακτινοθεραπευτικά περιστατικά πνεύμονα, μέσω **δοσιμετρικών δεικτών** και **ελέγχων ποιότητας** [Patient-Specific Quality Assurance (PSQA)].

Μέθοδοι & Υλικά

1. Συλλογή Δεδομένων

VMAT πλάνα πνεύμονα – ΠΓΝ «Αττικόν»

(Μάιος 2023 – Δεκέμβριος 2025)

215

TOTAL CASES

181	34
TRAINING CASES	INDEPENDENT VALIDATION CASES

2. Επιλογή & Ανάπτυξη Μοντέλων

4 in-house RapidPlan™ KBP models [3-8]

M1	Hybrid (all cases)	Επίδραση Outliers
M2	Hybrid + Outlier removal	
M3	AAA-specific + Outlier removal	Επίδραση dose calculation algorithm [9-10]
M4	AXB-specific + Outlier removal	

3. Outlier Analysis (Verification Phase)

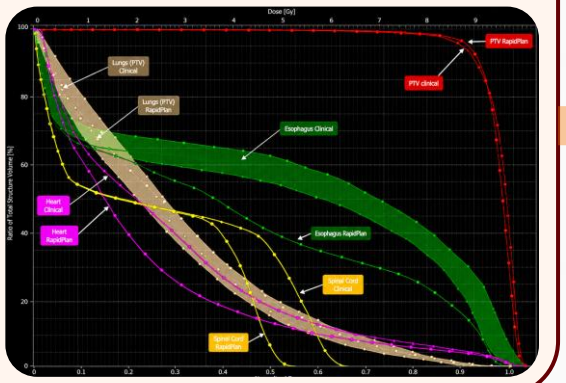
- **Εντοπισμός Outlier**
  - Influential Points
  - Geometric/ Dosimetric
- **Επανεκπαίδευση Μοντέλου**
  Χωρίς τους Outliers
- **Σύγκριση Μοντέλων**
  Εκτίμηση της επίδρασης αφαίρεσης των outliers

4. Dosimetric Evaluation

Σύγκριση KBP Vs. Clinical plan ως προς επιλεγμένα DVH-metrics

PTV coverage

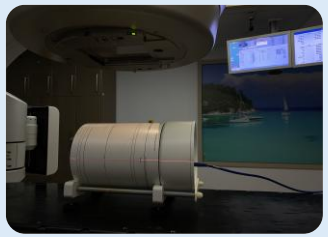
OAR sparing



5. Patient Specific QA (PSQA)

Αξιολόγηση της κλινικής εφαρμοσιμότητας των πλάνων [11]

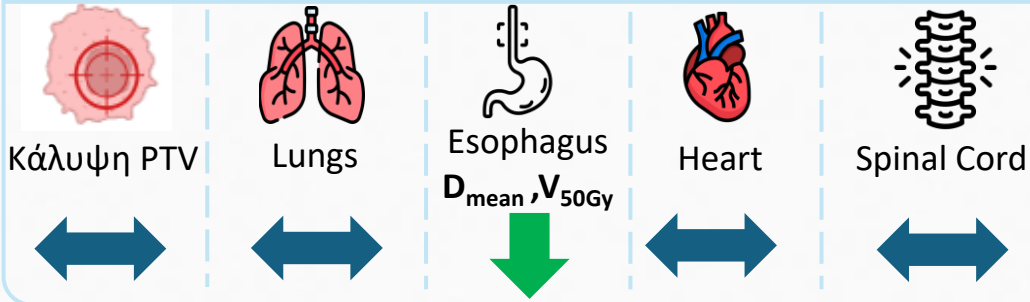
Αξιοποιήθηκε το ομοίωμα **ArcCHECK™**, μέσω **ανάλυσης Gamma (γ)** με κριτήριο **3%/2mm** και δείκτη αξιολόγησης το **Gamma Passing Rate (GPR)**



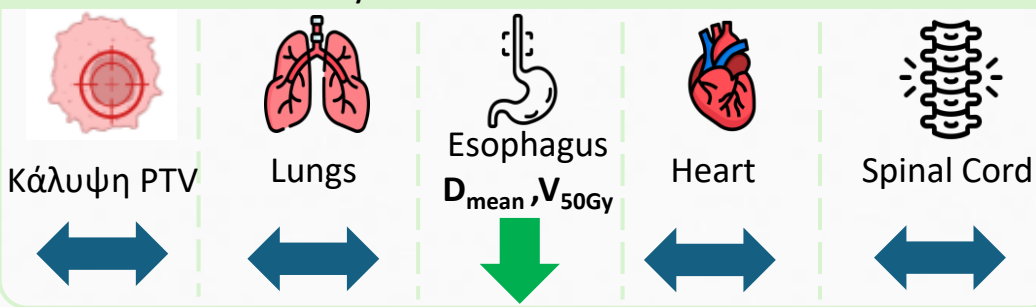
74 validation plans: M1/M2/M4: 20 ανά μοντέλο • M3:14

Αποτελέσματα

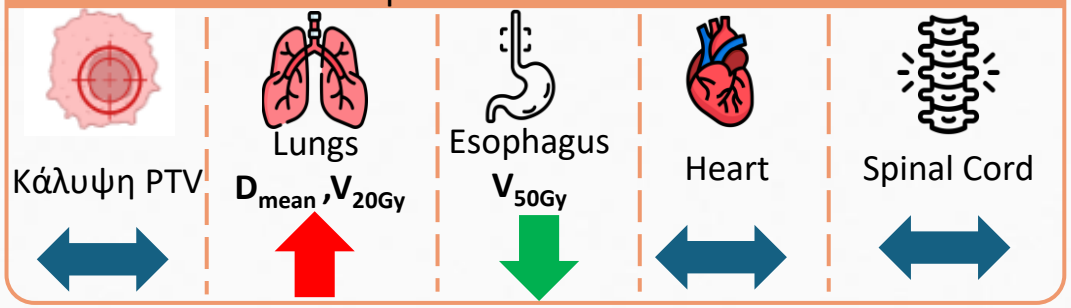
M1
Hybrid (all cases)



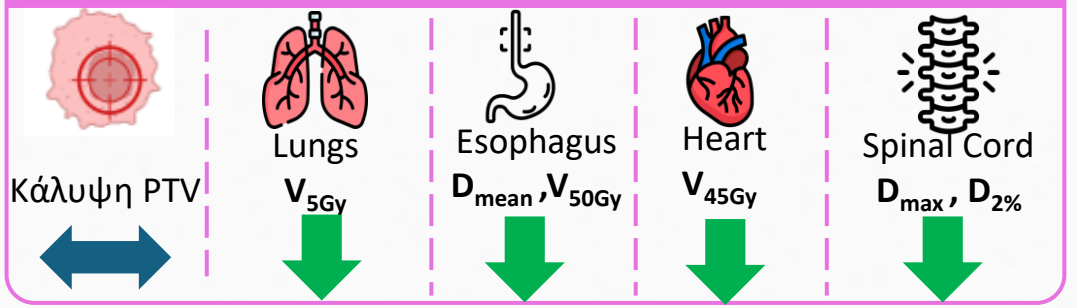
M2
Hybrid + Outlier removal



M3
AAA-specific + Outlier removal



M4
AXB-specific + Outlier removal



Αποτελέσματα PSQA

γ-index: 3%/2mm

- **85%** του συνόλου των πλάνων παρουσίασαν **GPR > TL(96.3%)**
- **90%** του συνόλου των πλάνων παρουσίασαν **GPR > AL(94.8%)**

- Στατιστικά σημαντική **μείωση** της δόσης σε σχέση με τα clinical plans
- Στατιστικά σημαντική **αύξηση** της δόσης σε σχέση με τα clinical plans
- **Μη** στατιστικά σημαντική διαφορά σε σχέση με τα clinical plans

Συμπεράσματα



ΚΛΙΝΙΚΗ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ

Τα KBP μοντέλα παρήγαγαν **κλινικά αποδεκτά πλάνα**, με **διατήρηση της κάλυψης του PTV** και **συγκρίσιμη ή βελτιωμένη δοσιμετρική ποιότητα**.



ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ OAR

Παρατηρήθηκε **βελτιωμένη δοσιμετρική συμπεριφορά για τα OARs**, με **διαφοροποιήσεις** ανάλογα με τη στρατηγική εκπαίδευσης.



ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΟΣΗΣ ΚΑΙ OUTLIER ANALYSIS

Ο **αλγόριθμος υπολογισμού δόσης, διερευνήθηκε για πρώτη φορά**, **επηρεάζοντας την απόδοση των μοντέλων**. Το **outlier analysis δεν επέφερε συνολικά ουσιαστική δοσιμετρική μεταβολή**, σε συμφωνία με προηγούμενη μελέτη [12] .



ΚΛΙΝΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ PSQA

Όλα τα μοντέλα εμφάνισαν **υψηλά ποσοστά επιτυχίας στο PSQA**, υποστηρίζοντας την **κλινική αποδοχή** των παραγόμενων πλάνων.



Τα **KBP μοντέλα** αποτελούν ένα **αξιόπιστο εργαλείο** για τη δημιουργία **κλινικά αποδεκτών VMAT πλάνων πνεύμονα**, συμβάλλοντας στη **μείωση του inter-planning variability** και στην **εξοικονόμηση χρόνου** κατά τον σχεδιασμό.

Βιβλιογραφία

[1] Duke K, Papanikolaou N. Artificial intelligence in radiation therapy: from imaging to delivery—a comprehensive review. BJR|Artificial Intelligence. 2025 Jan 1;2(1):ubaf012. https://doi.org/10.1093/bjrai/ubaf012

[2] Momin S, Fu Y, Lei Y, Roper J, Bradley JD, Curran WJ, et al. Knowledge-based radiation treatment planning: A data-driven method survey. Journal of Applied Clinical Medical Physics. 2021 Jul 7;22(8):16–44. https://doi.org/10.1002/acm2.13337

[3] Van Gysen K, O'Toole J, Le A, Wu K, Schuler T, Porter B, et al. Rolling out RapidPlan: What we've learnt. Journal of Medical Radiation Sciences. 2020 Sep 3;67(4):310–7. https://doi.org/10.1002/jmrs.420

[4] Fogliata A, Belosi F, Clivio A, Navarria P, Nicolini G, Scorsetti M, et al. On the pre-clinical validation of a commercial model-based optimisation engine: Application to volumetric modulated arc therapy for patients with lung or prostate cancer. Radiotherapy and Oncology. 2014 Nov 21;113(3):385–91. https://doi.org/10.1016/j.radonc.2014.11.009

[5] Tambe NS, Pires IM, Moore C, Cawthorne C, Beavis AW. Validation of in-house knowledge-based planning model for advance-stage lung cancer patients treated using VMAT radiotherapy. British Journal of Radiology. 2019 Dec 17;93(1106):20190535. https://doi.org/10.1259/bjr.20190535

[6] Snyder KC, Kim J, Reding A, Fraser C, Gordon J, Ajlouni M, et al. Development and evaluation of a clinical model for lung cancer patients using stereotactic body radiotherapy (SBRT) within a knowledge-based algorithm for treatment planning. Journal of Applied Clinical Medical Physics. 2016 Nov 1;17(6):263–75. https://doi.org/10.1120/jacmp.v17i6.6429

[7] Harms J, Zhang J, Kayode O, Wolf J, Tian S, McCall N, et al. Implementation of a Knowledge-Based Treatment Planning Model for Cardiac-Sparing Lung Radiation Therapy. Advances in Radiation Oncology. 2021 Jun 24;6(6):100745. https://doi.org/10.1016/j.adro.2021.100745

[8] Fanou AM, Patatoukas G, Chalkia M, Kollaros N, Kougioumtzopoulou A, Kouloulias V, et al. Implementation, dosimetric assessment, and treatment validation of Knowledge-Based Planning (KBP) models in VMAT Head and Neck Radiation Oncology. Biomedicines. 2023 Mar 2;11(3):762. https://doi.org/10.3390/biomedicines11030762

[9] Tsimpoukelli M, Patatoukas G, Chalkia M, Kollaros N, Kougioumtzopoulou A, Michaletou D, et al. Dosimetric comparison and evaluation of two computational algorithms in VMAT treatment plans. Journal of Applied Clinical Medical Physics. 2023 Jun 21;24(9):e14051. https://doi.org/10.1002/acm2.14051

[10] Chalkia M, Patatoukas G, Tsimpoukelli M, Kollaros N, Zachou ME, Kypraiou E, et al. Investigating the dosimetric impact of Acuros XB in lung cases before clinical implementation. Cureus. 2025 Oct 6;17(10):e93913. https://doi.org/10.7759/cureus.93913

[11] Miften M, Olch A, Mihailidis D, Moran J, Pawlicki T, Molineu A, et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA : Recommendations of AAPM Task Group No. 218. Medical Physics. 2018 Feb 14;45(4):e53–83. https://doi.org/10.1002/mp.12810

[12] Delaney AR, Tol JP, Dahele M, Cuijpers J, Slotman BJ, Verbakel WFAR. Effect of dosimetric outliers on the performance of a Commercial Knowledge-Based Planning Solution. International Journal of Radiation Oncology*Biology*Physics. 2015 Nov 10;94(3):469–77. https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2015.11.011

Η επισυναπτόμενη βιβλιογραφία είναι ενδεικτική