

## Open Schools Journal for Open Science

Vol 8, No 2 (2025)

Vol. 8 No. 2 (2025): Open Schools Journal for Open Science - Special Issue -IDEA Conference Proceedings



### Θεραπεία Καρκίνου Με Ραδιοϊσότοπα

Χριστιάνα Σιαφίκου , Γεωργία Λυδία Σωτηρίου

doi: [10.12681/osj.43940](https://doi.org/10.12681/osj.43940)

Copyright © 2025, Χριστιάνα Σιαφίκου , Γεωργία Λυδία Σωτηρίου



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

### To cite this article:

Σιαφίκου Χ., & Σωτηρίου Γ. Λ. (2025). Θεραπεία Καρκίνου Με Ραδιοϊσότοπα. *Open Schools Journal for Open Science*, 8(2). <https://doi.org/10.12681/osj.43940>

## **Θεραπεία Καρκίνου Με Ραδιοϊσότοπα**

Σιαφίκου Χριστιάνα, Σωτηριού Γεωργία - Λυδία  
Ελληνογερμανική Αγωγή

### **1. Εισαγωγή**

Ο καρκίνος είναι μία ασθένεια η οποία έχει κινητοποιήσει την επιστημονική κοινότητα, αφενός επειδή αφορά όλο και περισσότερους ανθρώπους και αφετέρου επειδή κρίνεται αδήριτη η ανάγκη εύρεσης θεραπείας. Είναι γνωστοί περισσότεροι από διακόσιοι (200) τύποι καρκίνου, οι οποίοι εμφανίζουν διαφορετικά ποσοστά μεταστάσεων και θνησιμότητας. Τα τελευταία χρόνια, στη φάρετρα των επιστημόνων έχουν προστεθεί καινοτόμες θεραπείες πέραν των κλασικών (Χημειοθεραπεία, χειρουργική επέμβαση κ.ά.), όπως η Ανοσοθεραπεία, η Ακτινοβολία και η Θεραπεία με Ραδιοϊσότοπα. Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η ανάδειξη της Θεραπείας καρκίνου με Ραδιοϊσότοπα και Ακτινοβολία.

### **2. Καρκίνος**

Η ανάπτυξη του καρκίνου είναι μία σύνθετη διαδικασία με πολλαπλά αίτια και διακριτή συμπεριφορά μεταξύ των διάφορων τύπων καρκίνου, ενώ υπάρχει περίπτωση ακόμη και στον ίδιο όγκο τα καρκινικά κύτταρα να παρουσιάζουν ετερογένεια. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια ο D. Hanahan έχει περιγράψει σε μια σειρά από εκδόσεις του “Hallmarks of Cancer” κάποια κοινά χαρακτηριστικά, τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη καρκίνου και είναι σχετικά τόσο με τον φαινότυπο καρκινικών κυττάρων, όσο και με το μικροπεριβάλλον του όγκου. Ο καρκίνος είναι η δεύτερη συχνότερη θανατηφόρα ασθένεια μετά τα καρδιαγγειακά νοσήματα. Ο μηχανισμός της καρκινογένεσης χωρίζεται σε τρία στάδια: Την αφετηρία, την προαγωγή και την εξέλιξη. Στην αφετηρία, ένα ή περισσότερα κύτταρα ξεκινούν να πολλαπλασιάζονται ανεξέλεγκτα. Στη συνέχεια, κατά τη φάση της προαγωγής, το μετασχηματισμένο (αρχικό) κύτταρο είτε παραμένει ουδέτερο, είτε μετασχηματίζεται περαιτέρω. Στο τελικό στάδιο, αυτό της εξέλιξης, δημιουργούνται μεταλλάξεις ή χρωμοσωμικές ανωμαλίες, οι οποίες εντείνονται από την πιθανή έκθεση σε καρκινογόνους παράγοντες.

### **3. Θεραπείες Καρκίνου**

Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι αντιμετώπισης του καρκίνου είναι οι χειρουργικές επεμβάσεις, η Χημειοθεραπεία, η Ανοσοθεραπεία, οι χορηγούμενοι βιολογικοί παράγοντες σε κάποιες περιπτώσεις, η Ακτινοβολία, ενώ τα τελευταία χρόνια η Θεραπεία με Ραδιοϊσότοπα έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των επιστημόνων. Τις περισσότερες φορές οι θεραπείες δρουν συμπληρωματικά μεταξύ τους και όχι μεμονωμένα, για την καλύτερη έκβαση της ασθένειας. Ο στόχος της θεραπείας του καρκίνου είναι να θεραπεύσει τον καρκίνο και να βοηθήσει στη διατήρηση ενός τυπικού προσδόκιμου ζωής. Εάν η ίαση δεν είναι εφικτή, χρησιμοποιούνται θεραπείες για να βοηθήσουν στη συρρίκνωση του όγκου ή στην επιβράδυνση της ανάπτυξής του. Οι θεραπείες για τον καρκίνο μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

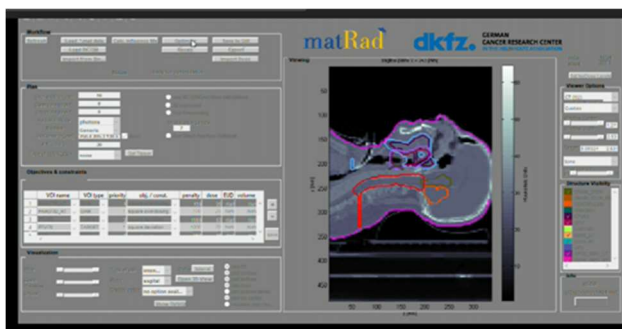
i) Στο πλαίσιο της πρωτοβάθμιας θεραπείας: Ο στόχος είναι να αφαιρεθεί πλήρως ο όγκος ή/και να καταστραφούν όλα τα καρκινικά κύτταρα. Η πιο κοινή πρωτογενής θεραπεία είναι η χειρουργική επέμβαση.

ii) Στο πλαίσιο της επικουρικής θεραπείας: Ο στόχος είναι να καταστραφούν τυχόν καρκινικά κύτταρα που απομένουν μετά την αρχική θεραπεία. Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να αποφευχθεί η επανεμφάνιση καρκίνου.

#### **4. Θεραπεία Με Ακτινοβολία**

Κατά την Ακτινοθεραπεία χορηγείται υψηλής δόσης ακτινοβολία με σκοπό να σκοτωθούν τα καρκινικά κύτταρα και να συρρικνωθεί ο όγκος. Η υψηλής ενέργειας ακτίνες προκαλούν βλάβες στο DNA των καρκινικών κυττάρων, οδηγώντας τα στον θάνατό ή στη διακοπή της διαίρεσης και του πολλαπλασιασμού τους. Το γεγονός ότι τα καρκινικά κύτταρα διαιρούνται ταχύτερα από τα φυσιολογικά κύτταρα, τα κάνει πιο ευαίσθητα απέναντι στην ακτινοβολία. Τα υγιή κύτταρα μπορούν να επηρεαστούν κι αυτά, αλλά έχουν τη δυνατότητα να επιδιορθώσουν τις βλάβες τους. Γενικά, οι Ακτινοθεραπείες γίνονται σε γραμμικό επιταχυντή, μια συσκευή που χρησιμοποιεί υψηλής συχνότητας ηλεκτρομαγνητικά κύματα, για την επιτάχυνση των φορτισμένων σωματιδίων, όπως ηλεκτρόνια σε υψηλές ενέργειες μέσω ενός γραμμικού σωλήνα. Προφανώς, η Φυσική παίζει θεμελιώδη ρόλο στην ακτινοθεραπεία για τον καρκίνο, καθώς η αποτελεσματικότητα και η ασφάλεια της θεραπείας εξαρτώνται από την ακριβή κατανόηση και εφαρμογή φυσικών αρχών. Η ακτινοβολία χρησιμοποιείται για να καταστρέψει τα καρκινικά κύτταρα, αλλά η διαδικασία αυτή πρέπει να είναι εξαιρετικά ακριβής για να περιορίζεται η βλάβη και να μην επεκτείνεται στους υγιείς ιστούς. Ο ρόλος της Φυσικής στην ακτινοθεραπεία εκδηλώνεται σε πολλούς τομείς, όπως στην παραγωγή, στην κατεύθυνση, στην παρακολούθηση και στην υπολογιστική μοντελοποίηση της ακτινοβολίας.

Οι περιορισμένες στην περιοχή του καρκίνου παρενέργειες, καθώς επίσης και η δυνατότητα να εφαρμοστεί πριν από χειρουργική επέμβαση για να συρρικνωθεί ο όγκος, ή μετά για την αποφυγή μεταστάσεων, είναι τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την Ακτινοβολία του όγκου. Ωστόσο, κρίνεται απαραίτητο να ειπωθεί το γεγονός ότι τα ποσοστά επιτυχίας δεν είναι τόσο υψηλά, συγκρινόμενα για παράδειγμα με αυτά της ανοσοθεραπείας.



*Εικόνα 1. Από το σεμινάριο «Η χρήση της Φυσικής επιστήμης στην Ιατρική Θεραπεία» όπου γνωρίσαμε την τεχνική θεραπείας σοβαρών μορφών καρκινικών όγκων, όπως αυτή γίνεται στο Γερμανικό Κέντρο Έρευνας για τον Καρκίνο DKFZ στην Χαϊδελβέργη. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί φωτόνια, πρωτόνια ή ιόντα άνθρακα.*

#### **Ραδιοϊσότοπα στην Ακτινοθεραπεία**

Στην Ακτινοθεραπεία χρησιμοποιούνται Ιατρικά Κυκλοτρόνια. Τα Κυκλοτρόνια (ή Κύκλωτρα) ανακαλύφθηκαν από τον Έρνεστ Ορλάντο Λόρενς το 1938, ενώ ο όρος «Ιατρικά Κυκλοτρόνια» ξεκίνησε να χρησιμοποιείται στην ιατρική κοινότητα τη δεκαετία του 1980. Είναι, ουσιαστικά, επιταχυντές φορτισμένων σωματιδίων που χρησιμοποιούν οι Πυρηνικοί Ιατροί και αποτελούν κέντρα παραγωγής Ραδιοϊσοτόπων. Τα περισσότερα Ιατρικά Κυκλοτρόνια

επιταχύνουν Πρωτόνια σε υψηλές ενέργειες και χρησιμοποιούνται κυρίως για Ακτινοθεραπεία κακοήθων όγκων. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ιατρικών κυκλοτρονίων παράγεται ακτινοβολία γάμμα και νετρόνια, καθώς επίσης και ραδιονουκλείδια (Ράδιο, Ουράνιο, Θόριο, Κάισιο), τα οποία όταν στοχεύσουν καρκινικά κύτταρα, τα καταστρέφουν.

### **5. Θεραπεία με Ραδιοϊσότοπα**

Οι Ογκολόγοι χρησιμοποιώντας τον όρο Ραδιοϊσότοπο, εννοούν κάθε ισότοπο ενός χημικού στοιχείου, που είναι ασταθές και κατά τη διάσπασή του εκπέμπει ραδιενέργεια. Τα τελευταία χρόνια η θεραπεία καρκίνου με Ραδιοϊσότοπα είναι αρκετά διαδεδομένη και αποτελεί μία μορφή θεραπείας που χρησιμοποιεί ραδιενεργά στοιχεία για να καταστρέψει καρκινικά κύτταρα. Αυτή η θεραπεία βασίζεται στα Ραδιοϊσότοπα, τα οποία χορηγούνται στους ασθενείς και καταστρέφουν τις καρκινικές κυτταρικές δομές με τη βοήθεια της εκπέμπουσας ενέργειας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι θεραπείας καρκίνου με Ραδιοϊσότοπα και μπορεί να εφαρμοστούν με διαφορετικούς τρόπους, ανάλογα με το είδος του καρκίνου, την τοποθεσία του και άλλους παράγοντες. Οι κύριες εφαρμογές της μεθόδου είναι οι εξής:

A) Εσωτερική Ραδιοθεραπεία: Σε αυτήν την περίπτωση, Ραδιοϊσότοπα τοποθετούνται άμεσα κοντά ή μέσα στον καρκινικό όγκο. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα Ραδιοϊσότοπα καταστρέφει τα καρκινικά κύτταρα με τη μικρότερη δυνατή βλάβη στους υγιείς ιστούς.

B) Συστηματική Ραδιοθεραπεία: Σε αυτή την περίπτωση, τα Ραδιοϊσότοπα εισέρχονται στο σώμα μέσω του αίματος και κατευθύνονται στα καρκινικά κύτταρα μέσω του μεταβολισμού ή της χημικής συγγένειας, δηλαδή της δύναμης που φέρεται να συγκρατεί ενωμένα τα άτομα μιας χημικής ένωσης.



*Εικόνα 2. Στην ΙΖΟΛΔΗ, μία από τις μεγαλύτερες Μονάδες παραγωγής Ραδιοϊσοτόπων στο Κέντρο Πυρηνικών Ερευνών (CERN) στη Γενεύη (Ιανουάριος 2025) όπου μάθαμε για τις μεθόδους παραγωγής των Ραδιοϊσοτόπων, τις διαδικασίες διατήρησης αλλά και μεταφοράς στα Ιατρικά Κέντρα σε όλο τον Κόσμο.*

Κύριο χαρακτηριστικό των Ραδιοϊσοτόπων είναι η ιδιότητά τους να έχουν ασταθή πυρήνα που αποσυντίθεται ή εκπέμπει περίσσεια ακτινοβολίας μέχρι να γίνει σταθερός. Μέχρι σήμερα, οι ερευνητές έχουν ανακαλύψει ραδιενεργές ουσίες που μπορούν να στοχεύσουν διάφορους καρκίνους, όπως καρκίνος Θυρεοειδούς, Λέμφωμα, Καρκίνος Ωοθηκών, Εγκέφαλος ή Καρκίνος που εξαπλώνεται ευρέως στα οστά. Τα Ραδιοϊσότοπα, όπως όλα τα ισότοπα χημικών στοιχείων, έχουν τον ίδιο αριθμό πρωτονίων, διαφορετικό αριθμό νετρονίων και διαφέρουν σε ατομική μάζα. Η διάσπαση των στοιχείων αυτών συνεπάγεται την έκλυση ενέργειας με τη μορφή ακτινοβολίας Άλφα, Βήτα (ηλεκτρόνια)/Βήτα + (ποζιτρονίων) και Ακτίνες Γάμμα. Τα Ραδιοφάρμακα, επειδή χρησιμοποιούνται τόσο στη θεραπεία, όσο και στη διάγνωση του καρκίνου, δεν πρέπει να είναι φαρμακολογικά ενεργά, που σημαίνει ότι θα πρέπει να ενεργοποιούνται σε συνδυασμό με άλλες ουσίες, τους μεταβολίτες, για να μην είναι η χρήση τους επικίνδυνη ή επιβλαβής. Η θεραπεία με Ραδιοϊσότοπα εμφανίζει πληθώρα πλεονεκτημάτων. Αρχικά, η ακριβής στόχευση παίζει καταλυτικό ρόλο στην επιτυχία της μεθόδου, καθώς τα Ραδιοϊσότοπα δύνανται να στοχεύσουν συγκεκριμένα τα καρκινικά κύτταρα με την ελάχιστη επίπτωση

στους υγιείς ιστούς. Ακόμη, η ελάχιστη επέμβαση την καθιστά ιδανική λύση σε περίπτωση που ο όγκος είναι μη χειρουργήσιμος, είτε λόγω του δυσπρόσιτου της θέσης, είτε λόγω υψηλής επικινδυνότητας. Σε άλλη περίπτωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί συνδυαστικά με χειρουργική επέμβαση, πριν ή μετά από αυτήν, για την αποφυγή μεταστάσεων και την εξασφάλιση της πλήρους καταστροφής των καρκινικών κυττάρων.

## **6. Σύγκριση Μεθόδων**

Από φυσική άποψη, η κύρια διαφορά των δύο θεραπειών έγκειται στη μέθοδο παραγωγής και μετάδοσης της ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα, η ακτινοθεραπεία βασίζεται σε εξωτερικά παραγόμενη ακτινοβολία που στοχεύει με ακρίβεια την περιοχή του όγκου. Αντιστοίχως, η θεραπεία με Ραδιοϊσότοπα χρησιμοποιεί ραδιενεργά υλικά που εισάγονται στο σώμα και απελευθερώνουν ακτινοβολία κατά τη διάσπασή τους, στοχεύοντας τοπικά ή συστηματικά τον καρκίνο. Ωστόσο, και οι δύο μέθοδοι χρησιμοποιούν την ιονίζουσα ακτινοβολία για να βλάψουν το DNA των καρκινικών κυττάρων, αλλά διαφέρουν ως προς τον τρόπο εφαρμογής, την ακρίβεια και τη στόχευση. Η Ακτινοθεραπεία, στοχεύοντας με εξωτερική δέσμη ακτινοβολίας, είναι προτιμώμενη σε τοπικούς όγκους, οι οποίοι δεν έχουν εξαπλωθεί, όπως καρκίνος του μαστού, του προστάτη ή των πνευμόνων. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί πως είναι αποτελεσματική σε συμπαγείς όγκους οργάνων ή ιστών, καθώς η εξωτερική ακτινοβολία μπορεί να στοχευθεί με ακρίβεια. Επίσης, ο μη επεμβατικός της χαρακτήρας αρμόζει σε ασθενείς που για διάφορους λόγους, μεταξύ των οποίων η επικινδυνότητα του χειρουργείου ή η μεγάλη ηλικία, δεν μπορούν να υποβληθούν σε επεμβατικές θεραπείες. Τέλος, συχνά χρησιμοποιείται για τη συρρίκνωση των όγκων πριν τη χειρουργική επέμβαση ή για την καταστροφή υπολειπόμενων καρκινικών κυττάρων μετά την εγχείρηση, ή ακόμα και σε συνδυασμό με χημειοθεραπεία. Οι προηγμένες τεχνολογίες (π.χ. IMRT, θεραπεία με πρωτόνια) μπορούν να στοχεύσουν τον όγκο, ενώ προστατεύουν τους γύρω υγιείς ιστούς, εξασφαλίζοντας ύψιστη ακρίβεια. Σε αντίθεση με τα Ραδιοϊσότοπα, η Ακτινοβολία χορηγείται εξωτερικά, χωρίς να παραμένουν ραδιενεργά υλικά στο σώμα, επιτρέποντας ευρεία εφαρμογή. Μολαταύτα, υπάρχουν πολλοί περιορισμοί, οι περισσότεροι των οποίων σχετίζονται με τις παρενέργειες. Η βλάβη στους κοντινούς υγιείς ιστούς μπορεί να προκαλέσει παρενέργειες, όπως εγκαύματα δέρματος, κόπωση ή βλάβη σε κρίσιμα όργανα. Επίσης, οι εξωτερικές δέσμες μπορεί να μην είναι αποτελεσματικές για καρκίνους στις κοιλότητες του σώματος ή για μεταστατικούς καρκίνους.

Κατ' αντιστοιχία, η Εσωτερική Θεραπεία με Ραδιοϊσότοπα είναι καλύτερη για συστηματικούς καρκίνους, δηλαδή για καρκίνους που έχουν εξαπλωθεί (μεταστάσεις) σε πολλά σημεία, όπως μεταστάσεις στα οστά. Επίσης, είναι κατάλληλη για καρκίνους με συγκεκριμένους μοριακούς δείκτες που μπορούν να δεσμευτούν από ραδιοϊσότοπα (π.χ. καρκίνος Θυρεοειδούς που απορροφά ιώδιο). Παράλληλα, η επιλεκτική στόχευση ιστών είναι ιδανική για καρκίνους σε δύσκολες περιοχές όπως το ήπαρ ή τα οστά. Σημαντικότερη κρίνεται και η επιλογή της Θεραπείας Ραδιοϊσοτόπων σε αιματολογικούς Καρκίνους, όπως Λέμφωμα (Hodgkin και μη Hodgkin), (π.χ. Ραδιοανοσοθεραπεία με ισότοπα δεσμευμένα σε αντισώματα).

Πολλές κλινικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται στις μέρες μας κι εμφανίζουν ικανά ποσοστά επιτυχίας. Παραδείγματα Χρήσης είναι το Ιώδιο-131, που χρησιμοποιείται για τον καρκίνο του Θυρεοειδούς, καθώς ο Θυρεοειδής αδένας απορροφά φυσικά το ιώδιο. Μία άλλη εφαρμογή στην κλινική πράξη είναι το Ράδιο-223, το οποίο χρησιμοποιείται για μεταστάσεις στα οστά, ειδικά στον καρκίνο του Προστάτη, επειδή μμείται το ασβέστιο και απορροφάται από τα οστά. Το Λουτέτιο-177, με τη σειρά του, χρησιμοποιείται στη θεραπεία

Νευροενδοκρινών όγκων (π.χ. PRRT για όγκους με υποδοχείς Σωματοστατίνης). Και στις τρεις αυτές εφαρμογές, τα σωματίδια υψηλού LET (Linear Energy Transfer - υψηλή ακτινοβολία LET, που μεταφέρει ενέργεια πιο πυκνά κατά μήκος της διαδρομής της και συνεπώς προκαλεί σημαντικότερη βλάβη στους ιστούς από τους οποίους διέρχεται), όπως τα Άλφα ή Βήτα προκαλούν έντονη, τοπική βλάβη στα καρκινικά κύτταρα με ελάχιστη βλάβη στους γύρω υγιείς ιστούς. Χορηγούνται μέσω ένεσης, από το στόμα ή με εμφυτεύματα, χωρίς την ανάγκη χρήσης ειδικού εξοπλισμού. Παρ' όλα ταύτα, οι ασθενείς μπορεί να χρειαστεί να αποφεύγουν τη στενή επαφή με άλλους (ειδικά παιδιά και εγκύους), μέχρις ότου αποσυντεθούν τα ραδιενεργά υλικά. Επιπρόσθετα, η Θεραπεία με Ραδιοϊσότοπα λειτουργεί μόνο για καρκίνους που μπορούν να στοχευθούν με συγκεκριμένα ισότοπα ή μοριακούς δείκτες, ενώ μπορεί να προκαλέσει συστηματικές παρενέργειες, όπως ναυτία, κόπωση ή ήπια βλάβη σε μη καρκινικούς ιστούς.

## **7. Συμπέρασμα**

Συμπερασματικά, η Ακτινοθεραπεία είναι η προτιμώμενη επιλογή για τοπικούς καρκίνους ή όταν απαιτείται ακριβής στόχευση, ενώ η Θεραπεία με Ραδιοϊσότοπα είναι καλύτερη για συστηματικούς καρκίνους ή καρκίνους με συγκεκριμένους μοριακούς δείκτες. Συχνά, οι Ογκολόγοι συνδυάζουν αυτές τις θεραπείες ή τις χρησιμοποιούν παράλληλα με άλλες (π.χ. χημειοθεραπεία) για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων. Η επιλογή εξαρτάται ανάλογα με τον τύπο του καρκίνου, το στάδιο και τη γενική υγεία του ασθενούς.

## **Βιβλιογραφία – Πηγές**

[1]: [Cancer Discov. 2022, 12(1), 31-46].

[2]: Pitot, H. C. (1993). The molecular biology of carcinogenesis. In Cancer (Vol. 72, Issue S3, pp. 962–970). Wiley.

[3]: <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/cancer-treatment/about/pac-20393344>

[4]: Particle Therapy Masterclass, March 2024/25, CERN, GSI, Papageorgiou Hospital