**ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΣΚΗΣΗ 2 ΤΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ**

**ΔΙΑΦΑΝΕΙΕΣ ΠΑΡΑΔΟΣΕΩΝ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ 12-13**

**ΣΥΓΓΡΑΜΜΑΤΟΣ Ε. ΓΕΩΡΓΙΟΥ**

# Ιουλία Μαλαμίτση

# Πυρηνικός Ιατρός

Αναπλ. Καθ. Ιατρικής Φυσικής

Ιατρική Σχολή Πανεπιστημίου Αθηνών

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

1. Χ.Χ. ΠΡΟΥΚΑΚΗ: Ιατρική Ακτινοφυσική, Τόμος 1, Εκδόσεις Γ. Κ. Παρισιάνου, Αθήνα 1983.
2. Ε.Κ. ΓΕΩΡΓΙΟΥ, V.J. LOWE, Χ.Χ. ΠΡΟΥΚΑΚΗ: Κλινική Ποζιτρονική Τομογραφία (PET). Μοριακή Απεικόνιση με PET και PET/CT, Εκδόσεις Παρισιάνου Α.Ε., Αθήνα 2004.
3. Ι. ΜΑΛΑΜΙΤΣΗ: Η Κλινική αξία της ΡΕΤ στο «Εξελίξεις στην Παθολογία Νεώτερες Απόψεις στη Διάγνωση και Θεραπεία», επιμέλεια Κ. Λυμπεράτος, Π. Φιλαλήθης, Η. Πολιτάκης, Β. Σεϊτανίδης. Εκδόσεις του Διαγνωστικού και Θεραπευτικού Κέντρου Υγεία, Αθήνα 2001, σελ. 621-642.
4. Ε. ΓΕΩΡΓΙΟΥ: Ιατρική Φυσική, 2η έκδοση, Brooklyn Hill Publishers Ltd, Nicosia Cyprus 2014, σελ.: 329-367
5. H Πυρηνική Ιατρική είναι ειδικότητα Α) διαγνωστική

Β) θεραπευτική Γ) και τα δύο

Σωστή Απάντηση: Γ)

H Πυρηνική Ιατρική είναι ειδικότητα της Ιατρικής, η οποία χρησιμοποιεί ανοικτές πηγές ακτινοβολίας για διαγνωστικούς και θεραπευτικούς σκοπούς. Ανοικτές πηγές ακτινοβολίας είναι πηγές ακτινοβολίας β (ηλεκτρονίων ή ποζιτρονίων), σπανιότερα α ή γ, τις οποίες είναι δυνατόν να χειριστούν ο πυρηνικός ιατρός, ο ακτινοφυσικός, ο παρασκευαστής ή ο τεχνολόγος που εκτελούν εξετάσεις ή αντιστοίχως θεραπείες Πυρηνικής Ιατρικής, σε αντίθεση με τις κλειστές πηγές ακτινοβολίας που χρησιμοποιεί η Ακτινοθεραπεία, όπου δεν είναι δυνατή η επέμβαση στην πηγή. Η Πυρηνική Ιατρική είναι κυρίως διαγνωστική ειδικότητα, οι θεραπευτικές όμως εφαρμογές της αυξάνουν διαρκώς.

Επιπλέον, η διαγνωστική Πυρηνική Ιατρική χωρίζεται σε: α) συμβατική που χρησιμοποιεί ακτινοβολία γ και τα μηχανήματά της είναι η γ-camera και οι probes και β) εξελιγμένη που χρησιμοποιεί ποζιτρόνια (ακτινοβολία β+) και το μηχάνημα της είναι ο Τομογράφος Ποζιτρονίων.

1. Η διαγνωστική Πυρηνική Ιατρική είναι Α) ΙΝ VIVO
   1. IN VITRO Γ) και τα δύο

Σωστή Απάντηση: Γ)

Η Πυρηνική Ιατρική διενεργεί διαγνωστικές εξετάσεις τόσον IN VIVO, δηλ. στον ζώντα οργανισμό (εξεταζόμενο ή πειραματόζωο), όσο και ΙΝ VITRO δηλ. στον δοκιμαστικό σωλήνα, ελέγχοντας επίπεδα διαφόρων ουσιών (ορμονών, ενζύμων, φαρμάκων, καρκινικών δεικτών κλπ.) σε βιολογικά υγρά των εξεταζομένου (όπως αίμα, ορός, ούρα, ασκιτικό, πλευριτικό υγρό).

1. Η Πυρηνική Ιατρική χρησιμοποιεί ραδιονουκλίδια που εκπέμπουν Α) γ-ακτινοβολία

Β) β- και γ-ακτινοβολία Γ) ποζιτρόνια

Δ) όλα τα παραπάνω

Σωστή Απάντηση: Δ)

Η συμβατική Πυρηνική Ιατρική χρησιμοποιεί ραδιονουκλίδια που κατά την διάσπασή τους εκπέμπουν γ-ακτινοβολία του τύπου του απλού φωτονίου. Η εξελιγμένη Πυρηνική Ιατρική χρησιμοποιεί γ-ακτινοβολία εξαϋλώσεως, δηλ. ζεύγη φωτονίων γ 511 keV, προερχόμενη από την εξαΰλωση ποζιτρονίου – ηλεκτρονίου. Τα ποζιτρόνια προέρχονται από την ραδιενεργό διάσπαση ασταθών πυρήνων που διαθέτουν περίσσεια πρωτονίων. Τα πλεονάζοντα πρωτόνια μεταπίπτουν σε νετρόνια με την απομάκρυνση ενός θετικού φορτίου υπό μορφή ποζιτρονίου, δηλαδή ενός θετικά φορτισμένου ηλεκτρονίου. Η β ακτινοβολία (δηλαδή εκπομπή ηλεκτρονίων ή ποζιτρονίων) προκύπτει από ισοβαρή μετατροπή κατά την οποία μεταβάλλεται ο ατομικός, αλλά όχι ο μαζικός αριθμός των στοιχείων. Τα ραδιονουκλίδια που εκπέμπουν ηλεκτρόνια χρησιμοποιούνται στην θεραπευτική Πυρηνική Ιατρική.

1. Ποιό είναι το συχνότερα χρησιμοποιούμενο ραδιονουκλίδιο στην συμβατική Πυρηνική Ιατρική;

Α) Tc-99m

* 1. Ga-67 Γ) Tℓ-201 Δ) F-18

Σωστή Απάντηση: Α)

Το Tc-99m έχει ιδανικά χαρακτηριστικά για χρησιμοποίηση του σε γ-camera. Συγκεκριμένα το μετασταθερό ραδιονουκλίδιο Tc-99m διασπάται με εκπομπή ενός απλού φωτονίου γ, ενέργειας 140keV που είναι ιδανικό για τον ευρέως χρησιμοποιούμενο τύπο γ-camera με κρύσταλλο ΝαJ (Tℓ), έχει χρόνο φυσικού υποδιπλασιασμού 6 ωρών που καλύπτει τον απαιτούμενο χρόνο για την πλειονότητα των εξετάσεων της συμβατικής Πυρηνικής Ιατρικής και από άποψη ακτινοπροστασίας είναι ευνοϊκό για το προσωπικό του Τμήματος Πυρηνικής Ιατρικής (πυρηνικούς ιατρούς, ακτινοφυσικούς και τεχνολόγους). Το Ga-67 citrate ραδιοφάρμακο κατάλληλο για ανίχνευση όγκων και φλεγμονών τείνει να αντικατασταθεί από το ραδιοφάρμακο της εξελιγμένης Πυρηνικής Ιατρικής 18F-FDG, ενώ το Tℓ-201 chloride χρησιμοποιείται πλέον σπάνια για καρδιολογικές μελέτες στη συμβατική Πυρηνική Ιατρική, διότι τείνει να αντικατασταθεί στην κλινική πράξη από τα τεχνητιοπαράγωγα 99mTc- SESTAMIBI και 99mTc-TETROFOSMIN.

1. Τα ραδιονουκλίδια που χρησιμοποιεί η ΡΕΤ είναι Α) παράγωγα Πυρηνικού αντιδραστήρα

Β) παράγωγα κυκλοτρονίου

Σωστή Απάντηση: B)

H PET συνιστά την εξελιγμένη Πυρηνική Ιατρική και τα ραδιοφάρμακα που χρησιμοποιεί εκπέμπουν όλα ποζιτρόνια. Τα ραδιονουκλίδια της ΡΕΤ είναι παράγωγα κυκλοτρονίου. Πρωτόνια επιταχύνονται μεταξύ ηλεκτροδίων σε σχήμα D εντός του πεδίου ενός ηλεκτρομαγνήτη και κατόπιν βομβαρδίζουν σταθερούς πυρήνες, οι οποίοι αποκτούν έτσι περίσσεια πρωτονίων, καθίστανται ασταθείς και κατόπιν διασπώνται με εκπομπή ποζιτρονίων.

1. Ποιά μηχανήματα χρησιμοποιεί η Π.Ι. Α) γ-camera

Β) μετρητή γ- και β-ακτινοβολίας

Γ) Τομογράφο Ποζιτρονίων (ΡΕΤ) scanner Δ) Όλα τα παραπάνω

Σωστή Απάντηση: Δ)

* γ-camera: ανιχνευτής σπινθηρισμών μιας, δύο ή τριών κεφαλών με μεγάλο κρύσταλλο ιωδιούχου νατρίου με προσμείξεις Θαλλίου (NaJ(Tℓ)) και ανιχνεύει απλά φωτόνια. Η τομογραφική μελέτη με γ-camera λέγεται SPECT (τομογραφία εκπομπής απλού φωτονίου).
* Μετρητής γ-ακτινοβολίας: βασίζεται στην ίδια αρχή της γ- camera με τη διαφορά ότι ο κρύσταλλος του μετρητή γ-ακτινοβολίας έχει σχήμα φρεατίου (δηλ. με διαμόρφωση μικρού πηγαδιού), όπου τοποθετείται ο δοκιμαστικός σωλήνας προκειμένου να μετρηθούν τα επίπεδα κάποιας ουσίας με τη βοήθεια ειδικής επεξεργασίας με τη διαμεσολάβηση ραδιοφαρμάκου.
* Ο μετρητής β-ακτινοβολίας χρησιμοποιείται πλέον σπάνια και ανιχνεύει ηλεκτρόνια που εκπέμπονται από ραδιενεργό δείγμα, δηλαδή βιολογικό υλικό εξεταζομένου που έχει τύχει επεξεργασίας με ραδιοφάρμακο ουσία πομπό ακτινοβολίας β (ηλεκτρονίων).
* Ο Τομογράφος Ποζιτρονίων ανιχνεύει ακτινοβολία γ- εξαϋλώσεως. Αποτελείται από διάταξη σε κύκλο πολλαπλών μικρών ανιχνευτών με κρυστάλλους διαφορετικούς από εκείνους της γ-camera, και με ηλεκτρονικά συστήματα συμπτώσεως.
* Επιπλέον υπάρχουν μικροί κυλινδρικοί ανιχνευτές (probes) που στηρίζονται στις αρχές των ανιχνευτών σπινθηρισμών και καταγράφουν την ραδιενέργεια περιοχών του σώματος χωρίς όμως απεικόνιση. Ορισμένος τύπος probe χρησιμοποιείται διεγχειρητικά, εντός δηλαδή του χειρουργικού πεδίου για να ανιχνευθούν περιοχές με ραδιενεργό πρόσληψη.

7.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ΔΙΑΦΟΡΕΣ μεταξύ:** | | |
|  | **Τομογραφικής γ-camera** | **Τομογράφου Ποζιτρονίων** |
| Τομογραφία | **SPECT Τομογραφία Εκπομπής Απλού Φωτονίου** | **PET**  **Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων** |
| Τύπος κρυστάλλου | NaJ(Τℓ) | BGO, LSO, GSO, LYSO |
| Ακτινοβολία | γ (απλά φωτόνια) | γ εξαϋλώσεως (από ποζιτρόνια) |
| Αριθμός κρυστάλλων | 1, 2, 3 (μονοκέφαλη, δικέφαλη, τρικέφαλη γ-  camera) | Πολλαπλοί μικροί σε διάταξη δακτυλίου |
| Ηλεκτρονικά  συστήματα | γ-camera | Επιπλέον συστήματα  συμπτώσεως |

1. Η Π.Ι. δίνει απεικόνιση

Α) λειτουργική

Β) ανατομική Γ) και τα δύο

Σωστή Απάντηση: Α)

Η Πυρηνική Ιατρική χρησιμοποιώντας ραδιοφάρμακα ιχνηθετεί μεταβολικά μονοπάτια των υπό εξέταση οργάνων ή ιστών του οργανισμού και προκειμένου να δώσει απεικόνιση προϋποθέτει την λειτουργία (φυσιολογική ή παθολογική) του οργάνου ή του ιστού. Επί απουσίας λειτουργίας δεν θα υπάρξει απεικόνιση.

1. Οι εξετάσεις που παίρνουμε με την γ-camera είναι Α) στατικές

Β) δυναμικές

Γ) τομογραφικές

Δ) όλες οι παραπάνω

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Σωστή Απάντηση: Δ) |  | | |
| Όλες οι παραπάνω. |
| Οι εξετάσεις που παίρνουμε | με | τον Τομογράφο Ποζιτρονίων | είναι πάντα |
| τομογραφικές. |  |  |  |

* + Στατική μελέτη: Όταν η κατανομή της ραδιενέργειας του απεικονιζόμενου οργάνου

παραμένει σταθερή καθ’ όλη την διάρκεια της μελέτης.

* + Δυναμική μελέτη: Όταν η κατανομή της ραδιενέργειας των υπό εξέταση οργάνων μεταβάλλεται στη διάρκεια του χρόνου της εξέτασης και η γ-camera απεικονίζει

κατά τρόπο κινηματογραφικό τις παραπάνω αλλαγές υπό μορφή πολλαπλών διαδοχικών εικόνων ακόμα και ανά δευτερόλεπτο.

* Τομογραφική μελέτη: Με την πλήρη ή ημίσεια περιστροφή της γ-camera γύρω από τον εξεταζόμενο λαμβάνονται πολλαπλές προβολές του υπό εξέταση οργάνου, οι οποίες με μαθηματική ανασύνθεση δίνουν τομές του οργάνου, δηλαδή λαμβάνεται σειρά από διαδοχικές δισδιάστατες εικόνες που απεικονίζουν όλο το βάθος του οργάνου ώστε να αναδεικνύονται δομές που υπάρχουν σε κάποιο βάθος.

1. Ποιό είναι το συχνότερα χρησιμοποιούμενο ραδιοφάρμακο της ΡΕΤ Α) F-18 FDG (φθοριοδεοξυγλυκόζη)

B) C-11 methionine Γ) F-18 DOPA

Σωστή Απάντηση: Α)

Η F-18 FDG (φθοριοδεοξυγλυκόζη) λόγω του ότι είναι ανάλογο της γλυκόζης αφορά τον μεταβολισμό του φυσιολογικού εγκεφάλου και της καρδιάς, καθώς επίσης παθολογικών ιστών που πάσχουν από καρκίνο ή φλεγμονή. Το γεγονός ότι επιση­μαίνεται με φθόριο-18 (F-18) με χρόνο φυσικού υποδιπλασιασμού 1.7h την καθιστά χρησιμοποιήσιμη και από τμήματα ΡΕΤ απομακρυσμένα από το κύκλοτρο παραγωγής.

11.Ποιές είναι οι συχνότερες εφαρμογές της ΡΕΤ Α) ογκολογικές

Β) νευρολογικές Γ) καρδιολογικές

Σωστή Απάντηση: Α)

Οι συχνότερες εφαρμογές είναι οι ογκολογικές και παρέχουν 85-90% των συνολικών εφαρμογών της ΡΕΤ διεθνώς. Ο λόγος είναι ότι το κυριότερο ραδιοφάρμακο της ΡΕΤ η F-18 FDG ως ανάλογο της γλυκόζης προσλαμβάνεται σε μεγάλο βαθμό από τους όγκους, οι οποίοι στην πλειονότητά τους παρουσιάζουν αυξημένο μεταβολισμό γλυκόζης.

12. Ποιά είναι η τρέχουσα τεχνολογική εξέλιξη της ΡΕΤ

Α) Σύντηξη ΡΕΤ με Αξονική Τομογραφία

Β) Σύντηξη ΡΕΤ με Απεικόνιση Μαγνητικού Συντονισμού

Γ) Σύντηξη SPECT με Αξονική Τομογραφία

Δ) Όλα τα παραπάνω

Σωστή Απάντηση: Δ)

Η σύντηξη ΡΕΤ με Αξονική Τομογραφία γίνεται πλέον σε υβριδικά μηχανήματα τους τομογράφους PET/CT. Τα εν λόγω μηχανήματα διαθέτουν ένα Τομογράφο Ποζιτρονίων και ένα Αξονικό Τομογράφο ενσωματωμένους σε ένα μηχάνημα. Με τη βοήθεια των ηλεκτρονικών υπολογιστών του μηχανήματος αυτού επιτυγχάνεται η σύντηξη εικόνας (hardware fusion) δηλαδή η απόλυτη επιπροβολή της εικόνας ΡΕΤ με την εικόνα CT. Είναι δυνατόν σύντηξη εικόνας να γίνει με τη βοήθεια της ψηφιακής επικοινωνίας ενός Τομογράφου Ποζιτρονίων και ενός Αξονικού ή Μαγνητικού Τομογράφου και ειδικού λογισμικού επιπροβολής της μιας εικόνας επί της άλλης (software fusion). Τέλος, παράγονται υβριδικά συστήματα PET/MRI (δηλ. Τομογράφοι Ποζιτρονίων με Μαγνητικούς Τομογράφους) και SPECT/CT (δηλ. γ- Camera με Αξονικό Τομογράφο) που επίσης χρησιμοποιούν τη μέθοδο σύντηξης για λήψη εικόνων και των δύο τεχνολογιών.

|  |  |
| --- | --- |
| **ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΡΑΔΙΟΝΟΥΚΛΙΔΙΑ ΕΞΕΛΙΓΜΕΝΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ (ΡΕΤ)** | |
| **Ραδιονουκλίδιο** | **Χρόνος Φυσικού Υποδιπλασιασμού** |
| Οξυγόνο-15 (Ο-15) | 2.1 min |
| Άζωτο-13 (Ν-13) | 10 min |
| Άνθρακας-11 (C-11) | 20 min |
| Φθόριο-18 (F-18) | 1.7 hr |

|  |  |
| --- | --- |
| **ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΡΑΔΙΟΝΟΥΚΛΙΔΙΑ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ** | |
| **Ραδιονουκλίδιο** | **Χρόνος Φυσικού Υποδιπλασιασμού** |
| Τεχνήτιο-99m (Tc-99m) | 6 ώρες (IN VIVO εφαρμογές) |
| Θάλλιο-201 (Tℓ-201) | 73 ώρες (IN VIVO εφαρμογές) |
| Γάλλιο-67 (Ga-67) | 78 ώρες (IN VIVO εφαρμογές) |
| Ιώδιο-131 (I-131) | 8 ημέρες (IN VIVO εφαρμογές) |
| Ιώδιο-125 (I-125) | 60 ημέρες (IN VITRO εφαρμογές) |