مدخل الى الطب النووي

الاصدار 21

المؤلفون

أ.م.د. أحمد جاسم المالكي
د. رافد رياض الطعمة
ص. ياسر رياض الطعمة

الجمعية العراقية للبحوث والدراسات الطبية

مركز الكوثر للطب النووي

العراق / البصرة - شارع الفراهيدي
هاتف: 00964781600 3165
alamelpublisher@gmail.com

يقدم هذا الكتاب نظرة شاملة ومبسطة حول أساسيات الطب النووي، موضحًا استخدام النظائر المشعة في التشخيص والعلاج، يناسب الطلاب والباحثين والمتخصصين الراغبين في فهم هذا المجال المتطور وآفاقه المستقبلية.

CC BY NC

رقم الإيداع في دار الكتب والوثائق
ببغداد (1164) لسنة 2025 م

ISBN
9 789922 705095

مدخل إلى الطب النووي

أ. م. د. أحمد جاسم حمود المالكي

جامعة البصرة / كلية التربية للعلوم الصرفة/ قسم الفيزياء

د. رافد رياض الطعمة – بورد طب نووي

مركز الكوثر للطب النووي

ياسر رياض الطعمة - صيدلاني ممارس

مركز الكوثر للطب النووي

التدقيق اللغوي

أ. م. د. خلود شهاب احمد الشماع

جامعة البصرة / كلية التربية للعلوم الإنسانية / قسم اللغة العربية

٦١٦,٧٥٧

م ٢٨٨ المالكي، أحمد جاسم حمود

مدخل إلى الطب النووي / أحمد جاسم حمود المالكي، رافد رياض الطعمة، ياسر رياض الطعمة.

ط١، البصرة، دار الأمل، ٢٠٢٥م

٩٢ ص، ٢٤سم.

١. الطب النووي أ. الطعمة، رافد رياض
ب. الطعمة، ياسر رياض (م.م.)

ج. العنوان.

رقم الإيداع في دار الكتب والوثائق ببغداد (١١٦٤) لسنة ٢٠٢٥م

الإصدار ٢١ للجمعية العراقية للبحوث والدراسات الطبية

AL KAWTHER
NUCLEAR MEDICINE CENTER

طبع على نفقة مركز الكوثر للطب النووي

بسم الله الرحمن الرحيم

ألم تَرَ كَيْفَ ضَرَبَ ٱللَّهُ مَثَلًا كَلِمَةً طَيِّبَةً كَشَجَرَةٍ طَيِّبَةٍ أَصْلُهَا ثَابِتٌ وَفَرْعُهَا فِي ٱلسَّمَآءِ (٢٤) تُؤْتِيٓ أُكُلَهَا كُلَّ حِينٍ بِإِذْنِ رَبِّهَاۗ وَيَضْرِبُ ٱللَّهُ ٱلْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ لَعَلَّهُمْ يَتَذَكَّرُونَ (٢٥) وَمَثَلُ كَلِمَةٍ خَبِيثَةٍ كَشَجَرَةٍ خَبِيثَةٍ ٱجْتُثَّتْ مِن فَوْقِ ٱلْأَرْضِ مَا لَهَا مِن قَرَارٍ (٢٦) يُثَبِّتُ ٱللَّهُ ٱلَّذِينَ ءَامَنُواْ بِٱلْقَوْلِ ٱلثَّابِتِ فِي ٱلْحَيَوٰةِ ٱلدُّنْيَا وَفِي ٱلْأٓخِرَةِۖ وَيُضِلُّ ٱللَّهُ ٱلظَّٰلِمِينَۚ وَيَفْعَلُ ٱللَّهُ مَا يَشَآءُ (٢٧)

سورة ابراهيم (٢٤-٢٧)

الاهداء

إلى أولئك الذين آمنوا بأن العلم نور يبدد ظلمات الجهل، وإلى من جعلوا من عملهم رسالة إنسانية نبيلة تخدم البشرية.

إلى العـاملين في مراكز الطـب النووي، الجنود المجهولون الـذين يكرســون جهودهم للتخفيف من معاناة المرضى ومكافحة الأمراض المستعصية.

إلى العلماء الذين لم تأسرهم قيود التحديات، بل صـنعوا من طموحهم جسـورًا للابتكار والإبداع، فحولوا المعرفة إلى علاج، والخوف من النووي إلى أمل يشــع حياة.

إلى عائلتي وأحبائي الذين كانوا لي عونًا وســندًا، أســتمد من دعائهم ووقوفهم بجانبي.

إلى مركز الكوثر للطب النووي لكل ما قدمه لنا من دعم ورعاية.

إلى الجمعية العراقية للبحوث والدراسات الطبية لدعمها وتشجيعها.

إلى وطني العزيز، العراق، الذي ينبت بين جنباته الإلهام رغم التحديات، والذي سيبقى دائمًا منارة للعقول النابغة والطموحات التي لا تعرف الحدود.

هذا الكتاب ثمرة إيمان بالعلم وقيمته، أهديه لكل من يســعى ليترك أثرًا جميلًا في هذا العالم، ولكل من يمد يده ليخفف من آلام الآخرين.

ومن الله التوفيق.

المؤلفون

الفصل الأول

قسم الانتاج

١-١-مقدمة.

بعد ان كانت عمليات الانشـــطار الذري والاندماج النووي مما يثير الرعب في نفوس العالم جراء ما عاشـه العالم من معاناة وألم بسـبب القنابل الذرية والنووية في الحرب العالمية الثانية وما تلاها من تجارب القنابل الهيدروجينية التي كانت تهدد الكوكب بالدمار والانشـطار، صـارت اليوم هذه العمليات نفسـها مما يرفع الالام والمعاناة والمرض عن الناس بل يدفع عنهم الموت المحتوم بسـبب أمراض السـرطان أو على أقل التقادير يقلل معاناتهم بالكشـف المبكر عن وجود هذا المرض الخبيث في جسم الانسان.

وهذه هي رسـالة العلم الانسـانية الحقيقية التي يرفعها العلماء الافاضـل بجعل العلم في خدمة البشـرية في المجالات كافة الاقتصـادية والاجتماعية والطبية والنفسية، وتنوير افراد المجتمع بما يصلح امرهم وشؤون حياتهم اليومية.

ونحن هنا نحاول ان نسـلط الضـوء على أحد أكبر الفتوحات العلمية الجبارة الحديثة التي انتجها العقل البشـري الخلاق الا وهي مراكز الطب النووي التي هي بحد ذاتها دلالة على ابداع الخالق في هذا العقل البشـري المعجز في حيثياته الذاتية كلها ونتاجاته المعرفية الخارجية.

مراكز الطب النووي هي منشـآت طبية متخصـصـة تسـتخدم تقنيات الفيزياء النووية في مجالات طبية لتشـخيص وعلاج بعض الامراض الخبيثة، ولأنها تعتمد في عملها على النظائر المشـعة لأجراء الفحوصات الطبية والعلاجات يتوجب على العاملين فيها الحذر من مخاطر الاشعاع النووي.

ونحن نحاول بتوفيق الله وتسـديده ان نسـلط الضـوء على كيفية عمل هذه المراكز الطبية وعن الدمج الرائع بين الفيزياء والطب بشكل يبهر العقول للحصول على تشخيص عالي الدقة لبعض الأمراض.

١-٢-ما مراكز الطب النووي؟

هي مراكز طبية نوعية خاصة تتكون من عدة أقسام ووحدات تعمل معًا لتقديم تشخيصات وعلاجات باستخدام متتبعات نووية (النظائر المشعة). تعتمد هذه المراكز تقنيات متقدمة لتقديم خدمات تشخيصية دقيقة وعلاجات فعالة، هذه المراكز تحتاج إلى تجهيزات خاصة وبنية تحتية متقدمة تشبه الى حد ما البنية التحتية للمفاعلات النووية، لضمان الأمان للعاملين فيها من الاشعاعات النووية الصادرة من معجل الجسيمات النووية، ولضمان الفعالية العلاجية والراحة النفسية للمرضى. يتم في هذه المراكز الدمج بين أحد أهم فروع الفيزياء وهي الفيزياء النووية تحديدا مع الطب بشكل علمي عالي الدقة والتركيز بواسطة المركبات الكيميائية على ما سيأتي شرحه وتفصيله لاحقا ان شاء الله تعالى.

عادةً تشمل مراكز الطب النووي المكونات التالية:

١-٣-قسم الانتاج.

يعد قسم الانتاج أهم الأقسام الموجودة في المركز ولذلك لأن عمل بقية الأقسام يعتمد بشكل مباشر على هذا القسم حيث ان هذا القسم يقوم بإنتاج مادة (FDG وهي فلوريد السكر منقوص الاوكسجين) والتي سيتم حقنها لاحقا في جسم المريض لتبدا بعدها سلسلة من الخطوات العلاجية او التشخيصية للمريض.

يتم انتاج المادة النووية المشعة (النظائر المشعة) في جهاز خاص يسمى معجل الجسيمات النووية، لكن ما السايكلوترون؟ وكيف يعمل؟

السايكلوترون هو جهاز يستخدم لتسريع الجسيمات النووية المشحونة، مثل البروتونات أو الايونات، إلى سرعات عالية باستخدام مجال مغناطيسي ومجال كهربائي متناوب. في السايكلوترون، يتم إنتاج الجسيمات المشحونة باستخدام مصادر خاصة تُعرف بمصادر الجسيمات المشحونة. هذه المصادر تختلف تبعًا لنوع الجسيمات المراد تسريعها ونوع المعجل وكذلك الهدف من المادة المصنوعة، وهنا نوضح الطريقة العملية الأساسية لإنتاج هذه الجسيمات: -

١- غاز الهيدروجين كمصدر للبروتونات.

يُستخدم غاز الهيدروجين كمصدر للبروتونات حيث يتم تمرير غاز الهيدروجين عبر تفريغ كهربائي عالي جدا يصـــل الى ١٥٠٠ فولت، مما يؤدي إلى تأيين الغاز وتحرير البروتونات (التي هي نوى ذرات الهيدروجين)، عملية التفريغ الكهربائي تفصل الإلكترونات عن نوى الهيدروجين، وتُبقي على البروتونات.

ومما يجدر الاشـــارة إليه هنا هو الحديث عن ذرة الهيدروجين والتي تعد أول وأهم ذرة في الجدول الدوري بل هي أول ذرة وأول لبنة من لبنات بناء هذا الكون الفسيح، وهي نفسها الذرة التي صنعت منها أقوى قنبلة هيدروجينية في العالم.

لذرة الهيدروجين ثلاثة نظائر رئيسة في الوجود وهي:

أولا: البروتيوم وله الرمز $_{1}H^{1}$، وهو أكثر نظائر الهيدروجين ثباتاً وأخفّها، وله نواة ذرة تتكون من بروتون واحد، ويســـتخدم الاســـم بروتيوم للتعبير عن هذا النظير (اسم غير شائع الاستخدام). لهذا النظير وفرة نسبيّة مقدارها ٩٩,٩٨٪.

ثانيا: الديوتيريوم ويرمز له بالرمز $_{1}H^{2}$ (او D)، وهو يشـــكل ٠,٠١٥٪ من ذرّات الهيدروجين في الطبيعة. إنّ الديويتيريوم عبارة عن نظير غير مشعّ ولا يشكّل خطراً على جســـم الإنســـان. تســـتخدم المركّبات والمذيبات الموســـومة بالديوتيريوم في تجارب مطيافية الرنين المغناطيسي النووي.

يدعى الماء الذي تكون جزيئاته مخصّـــبة بالديوتيريوم D مكان الهيدروجين (البروتيوم) H باســـم الماء الثقيل. والديوتيريوم قليل جدًا في الماء، إذ توجد منه ذرّة واحـدة فقط مقـابـل ٦٧٠٠ ذرة من البروتيوم. يســـتعمـل المـاء الثقيـل في المفاعلات النوويّة كمهدّئ للنيوترونات وكمادّة تبريد. يعدّ الديويتيريوم كأحد الاحتمالات الممكنة للاستخدام كوقود للاندماج النووي.

ثالثا: تريتيوم وله الرمز $_{1}H^{3}$ او T_{3}. وبذلك يعدّ الهيدروجين العنصـــــر الوحيد والذي لنظائره أسماءً مختلفة، حيث أن أسماء نظائر باقي العناصر يشار إليها باسم العنصر مرفقاً بعدد النيوترونات في النواة.

٢- البلازما كمصدر للأيونات (لجسيمات ثقيلة مثل الكربون أو الأوكسجين).

في حالة الجسيمات مثل الكربون أو الأوكسجين، يتم استخدام بلازما، وهي الحالة الرابعة من حالات المادة الثلاثة (الغازية والسائلة والصلبة) حيث تحتوي على جسيمات مشحونة (إلكترونات وأيونات). البلازما تُنتج عن طريق تعريض غاز يحتوي على نوع العنصر المطلوب لحقول كهربائية أو موجات راديو، مما يحرر الإلكترونات ويأين ذرات الغاز، مكونةً أيونات. وهناك طرائق أخرى لإنتاج الأيونات: تشمل استخدام ليزر عالي الطاقة لتأيين المادة أو استخدام مصادر أيونات تعتمد على درجات حرارة عالية جداً لتحفيز التأين.

بعد إنتاج الجسيمات المشحونة، يتم تجميعها وتوجيهها إلى مدخل السايكلوترون. يتم ذلك باستخدام حقول كهربائية ومغناطيسية لتوجيه وتركيز حزمة الجسيمات المشحونة. بمجرد أن تكون الجسيمات داخل السايكلوترون، يتم تسريعها كما وصفنا سابقًا باستخدام مجال كهربائي متناوبة ومجال مغناطيسي ثابت.

يتم استخدام هذه الجسيمات المتسارعة في مجموعة متنوعة من التطبيقات، بما في ذلك الطب النووي، الفيزياء النووية، والإشعاع الصناعي، وفيما يلي شرحًا مفصلًا عن مبدأ عمل السايكلوترون واستخداماته.

اخترع السايكلوترون إرنست أورلاندو لورنس (Ernest Orlando Lawrence) (١٩٠١ - ١٩٥٨) وهو فيزيائي أمريكي قام ببناء أول سايكلوترون (مسارع بروتونات وجسيمات دون ذرية حلقي الشكل) بالتعاون مع ملتون ستانلي لفنجستون عام ١٩٣١. عمل على فصل نظائر اليورانيوم ضمن ما عرف باسم مشروع مانهاتن، وهو ما ساهم في جهود الولايات المتحدة لإنتاج السلاح النووي في الحرب العالمية الثانية.

وقد حصل على جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٣٩م لجهوده في تطوير هذا الجهاز كما سمي العنصر الكيميائي رقم ١٠٣ لورنسيوم (lawrencium) تكريماً له. كانت النسخ الأولى من السايكلوترون صغيرة، ولكن مع مرور الوقت تم بناء نسخ أكبر وأكثر قوة من النسخة الأولى بكثير.

١-٤- مبدأ عمل السايكلوترون.

أولا- التسارع الحلقي او الدائري.

يتم وضع الجسيمات المشحونة في غرفة مفرغة تماما من الاوكسجين تحت ضغط فراغ (vacuum)يصل الى (10^{-8}Pa) تحتوي على قطبين نصف دائريين (يسميان (Dees)) متصلين بمصدر جهد كهربائي متناوب، ولكن ما مصدر الجسيمات المشحونة؟

مصدر الجسيمات المشحونة في السايكلوترون كما وضحنا سابقا وهو جهاز يُستخدم لإنتاج الأيونات (Ion source) التي تُسرَّع لاحقًا داخل السايكلوترون، الأيونات هي جزيئات أو ذرات مشحونة كهربائيًا، ويتم إنتاجها عبر إزالة أو إضافة إلكترونات إلى الذرات أو الجزيئات المحايدة.

هناك أنواع متعددة من المصادر الأيونية تُستخدم في السايكلوترونات، وكل منها مصمم لإنتاج نوع معين من الأيونات بكفاءة عالية.

ثانيا: المجال مغناطيسي.

يتم إنشاء مجال مغناطيسي عمودي على مستوى القطبين، مما يجبر الجسيمات المشحونة على التحرك في مسار دائري، في السايكلوترون، يؤدي المجال المغناطيسي دوراً حاسماً في توجيه حركة الجسيمات المشحونة داخل الجهاز، يحقق ذلك عن طريق التأثير على الجسيمات المشحونة (مثل البروتونات أو الديوتيرونات) أثناء حركتها، حيث ينتج عن تفاعل المجال المغناطيسي مع الشحنة حركة دائرية أو لولبية للجسيمات.

وظيفة المجال المغناطيسي في السايكلوترون تشمل:

١- توجيه الجسيمات في مسار دائري: عندما تتحرك الجسيمات المشحونة في وجود مجال مغناطيسي، تتعرض لقوة لورنتز التي تؤدي إلى انحناء مسارها، حيث يتم ضبط المجال المغناطيسي ليوجه الجسيمات في مسارات دائرية متسارعة.

٢- زيادة طاقة الجسيمات تدريجياً: السايكلوترون يحتوي على قطبين كهربيين (دايودات) يتم من خلالهما تطبيق مجال كهربائي متناوب. مع كل

دورة، تمر الجسيمات بين هذين القطبين وتتسارع بفضل المجال الكهربائي الذي يغير اتجاهه باستمرار كونه متصل بمصدر تيار متناوب، وبسبب المجال المغناطيسي المسلط على الصفيحتين المعدنيتين، تبقى الجسيمات في مسار دائري وتستمر في الحصول على دفعات من الطاقة الكهربائية مع كل مرور بين الصفيحتين.

٣- استمرار الحركة الدائرية بالرنين: يتم تردد المجال الكهربائي المتردد بحيث يكون متزامناً مع حركة الجسيمات. هذا يضمن أن الجسيمات تتسارع في الوقت المناسب عندما تمر بين القطبين، مما يزيد من طاقتها تدريجياً.

يمكن تلخيص وظيفة المجال المغناطيسي في السايكلوترون بأنها توجيه الجسيمات المشحونة في مسار دائري مستمر، مما يمكنها من الحصول على طاقة أكبر تدريجياً من خلال المجال الكهربائي المتناوب.

في كل مرة تمر فيها الجسيمات عبر الفجوة بين القطبين، تتسارع بواسطة الجهد الكهربائي المتناوب، بسبب التأثير المشترك للمجالين المغناطيسي والكهربائي، تكتسب الجسيمات طاقة حركية مع كل دورة، مما يزيد من سرعتها وبالتالي نصف قطر مسارها الحلقي.

ولكن السؤال الذي يتبادر الى ذهن القارئ هو لماذا نحتاج الى تسريع الجسيمات داخل المعجل النووي بحيث تصل طاقة الجسيمات المعجلة الى(٥٠ Mev) ميكا الكترون فولت والجواب هو حتى تستطيع هذه الجسيمات ان تخترق المجال المغناطيسي الذري الذي يحيط بها لتصل الى نواة ويحصل التفاعل الذي يحول الاوكسجين (O_{18}) الى عنصر الفلورين (F_{18}) المشع الذي سيرتبط لاحقا ليكون مركب سكر منقوص الاوكسجين FDG.

ثالثا: خروج الجسيمات.

عند وصول الجسيمات المشحونة إلى الطاقة المطلوبة من خلال عدة دورات داخل السايكلوترون بتأثير المجالين الكهربائي والمغناطيسي، يتم استخلاصها أو خروجها من المدار داخل السايكلوترون وتوجيهها إلى الهدف المطلوب، سواء كان ذلك لإنتاج النظائر المشعة أو استخدامات أخرى.

مقدار الطاقة التي تكتسبها الجسيمات المشحونة داخل السايكلوترون يعتمد على عدة عوامل، منها:

١- قوة المجال المغناطيسي (B). يلعب المجال المغناطيسي دورًا أساسيًا في تحديد مسار الجسيمات وسرعتها النهائية. تزيد قوة المجال المغناطيسي من الانحناء الذي تتعرض له الجسيمات، مما يسمح لها بالوصول إلى سرعات أكبر قبل مغادرة السايكلوترون لغرض الوصول الى نواة الذرة.

٢- تردد الجهد الكهربائي المتناوب(f). الجهد الكهربائي المتناوب الذي يطبق على الأقطاب الكهربائية في السايكلوترون يجب أن يكون متزامنًا مع حركة الجسيمات لكي يزداد تسارعها بشكل فعّال. عادةً ما يتم ضبط التردد ليتناسب مع الفترة الزمنية التي تستغرقها الجسيمات لإكمال دورة واحدة في المجال المغناطيسي.

٣- نصف قطر المسار(R). كلما زاد نصف قطر المسار الذي تتبعه الجسيمات؛ زادت السرعة التي يمكن أن تصل إليها. ومع ذلك، يوجد حد أعلى لنصف القطر يعتمد على حجم السايكلوترون ومجالاته.

صيغة الطاقة المكتسبة في السايكلوترون للجسيمات ذات الشحنة \(q\) تساوي:

$$E = q\ V\ N \quad \text{.....(١)}$$

حيث:

E- هي الطاقة المكتسبة.

q- هي شحنة الجسيم

V- هو الجهد الكهربائي المطبق.

N- عدد الدورات التي يقوم بها الجسيم في السايكلوترون.

كما ان هناك علاقة أخرى تأخذ في نظر الاعتبار نصف قطر المسار في السايكلوترون وهي:

$$K = (q^2\ B^2\ r^2/2m) \quad \text{.....(2)}$$

حيث ان:

K هي الطاقة الحركية للجسيم.

B هي كثافة المجال المغناطيسي.

r هو نصف قطر المسار.

m هي كتلة الجسيم.

في هذه العلاقة، يتم استخدام المجال المغناطيسي ونصف قطر المسار لحساب الطاقة النهائية، مما يعكس العلاقة بين القوة المغناطيسية المؤثرة على الجسيم وسرعته.

عمليًا، يمكن للسيكلوترونات الحديثة أن تصل بالجسيمات إلى طاقات عالية تتراوح من عدة ميغا إلكترون فولت (MeV) إلى عدة جيجا إلكترون فولت (GeV)، اعتمادًا على تصميم السايكلوترون وقوة المجالات المستخدمة.

١-٥- استخدامات السايكلوترون

للسايكلوترون استخدامات كثيرة بحسب الهدف الطلوب من تصنيع الجهاز واليك اهم الاستخدامات:

١- انتاج النظائر المشعة: يتم استخدام السايكلوترونات لإنتاج نظائر مشعة تستخدم في الطب النووي للتشخيص والعلاج. على سبيل المثال، يمكن إنتاج الفلور-١٨ المستخدم في تحضير مركب FDG .

٢- البحث العلمي: تُستخدم السايكلوترونات في أبحاث الفيزياء النووية والجزيئية لدراسة خصائص الجسيمات دون الذرية والتفاعلات النووية.

٣- العلاج بالإشعاع: يمكن استخدام الجسيمات المتسارعة بواسطة السايكلوترون في علاج السرطان، مثل العلاج بالبروتونات، حيث يتم توجيه البروتونات إلى الأورام لتدمير الخلايا السرطانية بدقة عالية.

٤- الإشعاع الصناعي: تُستخدم السايكلوترونات في الصناعة لتطبيقات مثل اختبار المواد، تعقيم الأدوات الطبية، وإزالة الشوائب من المواد.

١-٦- انتاج مركب فلوريد السكر منقوص الاوكسجين FDG.

إنتاج مركب الفلورو - ديوكـــســـــي جلوكوز (FDG) المسـتخدم في التصـوير المقطعي بالإصــدار البوزيتروني (PET) يتضــمن عدة خطوات كيميائية وفيزيائية دقيقة بالتفصيل الاتي:

الفلور ١٨ (F١٨) هو نظير مشــع ومصــدر مهم للبوزيترونات، كتلته قدرها (محســوبة بوحدة الكتل الذرية) ١٨,٠٠٠٩٣٨٠amu وعمر النصــف حوالي ١٠٩,٧٧١ دقيقة. يتحلل عبر انبعاث البوزيترون في ٩٧٪ من الحالات والتقاط الإلكترون في الباقي ٣٪. ينتج عن كلا طريقتي التحلل أوكسـجين-١٨ مسـتقر. ويتم هذا عبر عدة خطوات:

١- اختيار الهدف:

المرحلة الأولية يتم إنتاج الفلور-١٨ باســتخدام جهاز الســايكلوترون. يُستخدم الماء المخصب بنظير الأوكسجين-١٨ (H_2O^{18}) كهدف للتفاعل النووي:
يتم قذف الهدف بالبروتونات عالية الطاقة، مما ينتج الفلور-١٨ عبر التفاعل:

$$O^{18}(p،n)F^{18} \quad \text{.....(3)}$$

الفلور-١٨ هو نظير مشـع يُسـتخدم بشـكل شـائع في التصـوير الطبي، وخاصـة في التصــوير المقطعي بالإصــدار البوزيتروني (PET/CT) يتم إنتاجه بشــكل رئيس باستخدام مسرعات الجسيمات مثل السايكلوترون.

٢- القصف بالبروتونات:

يتم تســريع البروتونات في السايكلوترون إلى طاقات عالية (عادة ما بين ١٠-٢٠ ميغا إلكترون فولت). يتم توجيه هذه البروتونات إلى الهدف الذي يحتوي على الأكسجين-١٨.

٣- التفاعل النووي:

عندما تصــطدم البروتونات بالأوكســجين-١٨، يحدث تفاعل نووي يُعرف باســم تفاعل (p،n)، حيث يتحول بروتون إلى نيوترون وينتج الفلور-١٨. الصيغة العامة لهذا التفاعل هي:

$$O^{18} + p \rightarrow F^{18} + n \quad \text{.....(4)}$$

حيث:

O^{18} - الأكسجين ١٨وهو الهدف.

p - البروتون المعجل.

F^{18} - النظير المنتج الفلور-١٨.

n - النيوترون الناتج.

٤- فصل الفلور-١٨.

بعد التفاعل، يتم فصل الفلور-١٨ من الماء المستهدف باستخدام تقنيات كيميائية مناسبة. يتم استخدام الفلور-١٨ الناتج في إنتاج مركبات تحتوي على الفلور-١٨[$F^{١٨}$]، مثل فلوروديوكسي جلوكوزFDG، التي تُستخدم في الفحوصات الطبية.

المياه المخصبة بـ $O^{١٨}$ المستخدمة في إنتاج $F^{١٨}$ تكون عادةً مخصبة بنسبة ٩٧-٩٩٪ بـ $O^{١٨}$. إذا كانت نسبة التخصيب أقل، يتم إنتاج المزيد من N١٣ من التفاعل النووي O(p١٦،13N(α، مما يؤدي إلى مشاكل تلوث نووي محتملة في FDG النهائي. يمكن جمع المياه المخصبة بعد التشعيع وتنقيتها لإعادة استخدامها. في هذه الحالة، من الضروري التحقق من صحة عملية التنقية، عادةً إعادة التقطير، مما يضمن إنتاج فلوريد [$F^{١٨}$] بنقاء مقبول وعائد وسم مثالي لـ FDG. تستخدم معظم المرافق المياه مرة واحدة فقط ثم تتخلص منها أو تعيدها لإعادة معالجتها بواسطة الشركة المصنعة.

١-٧-وقفة علمية مع الماء

يمكن تصـنيف أنواع الماء بناءً على نظائر ذرات الأكسـجين والهيدروجين التي يحتويهـا، وفيمـا يلي الأنواع الرئيسـة للمـاء وفقًـا لنظـائر الأكسـجين والهيـدروجين، حيـث ان للهيـدروجين ثلاثـة نظـائر كمـا قلنـا سـابقـا وهي ($_1H^1$،$_1H^2$،$_1H^3$) وكذلك الاوكسجين له ثلاثة نظائر وهي ($_2O^{18}$، $_2O^{17}$،$_2O^{16}$) وبناء على ذلك تكون أقسـام الماء بالاعتماد على ارتباط اثنين من جزيئات الهيدروجين بأحد أقسـامه الثلاثة مع أحد جزيئات الاوكسـجين من أقسـامه الثلاثة فتكون أقسام الماء كما يلي:

١- الماء العادي(H_2O_{16})

وهو الماء الذي يتكون من اندماج ذرتين من نظير ذرة الهيدروجين البروتيوم ($_1H^1$)الذي يحتوي على بروتون واحد فقط ولا يحتوي على نيوترونات مع ذرة من نظير الأكسـجين-١٦(O^{16}) الذي يحتوي على ٨ بروتونات و٨ نيوترونات، فينتج المـاء العـادي (H_2O_{16})، حيـث يحتوي هـذا المـاء على نسـبـة 0.204% من الاوكسـجين المذاب بالماء وهو متوفر في الطبيعة بشـكل كبير جدا ولكن تختلف درجة نقاوته من مكان الى اخر.

٢- الماء الثقيل H_2O_{16} (D_2O_{16})

وهو المـاء الـذي يتكون من انـدمـاج ذرتين من نظير الهيـدروجين الـديتيريوم ($_1H^2$)الذي يحتوي على بروتون واحد ونيوترون واحد مع نظير الأكسـجين-١٦ ($O^{١٦}$) وتبلغ كتلة ذرة الديتريوم حوالي ضعف كتلة ذرة الهيدروجين العادي.

ونظراً للفرق بين كتلتي ذرتي نوعي الهيـدروجين تختلف الخواص الطبيعيـة للماء الثقيل عن خواص الماء العادي. فالماء الثقيل يتجمد عند درجة ٣,٨٢°م، بدلاً من درجة الصـفر المئوي، ويغلي عند درجة ١٠١,٤٢°م، بدلاً من ١٠٠°م، ولا تنبت فيه البذور ولا تعيش فيه الحيوانات.

الماء الثقيل نافع في بعض أنواع المفاعلات النووية التي تسـمى مفاعلات الماء الثقيل، حيث يعمل وسـيطا للتحكم في طاقة النيوترونات المنطلقة من التفاعل المتسـلسـل وهو يعمل أيضًـا مبردًا حيث يزيل الحرارة الناتجة عن التفاعلات

النووية. وهذا يمنع ارتفاع الحرارة في قلب المفاعل، ويحمل الحرارة كي يمكن استخدامها في إنتاج البخار والطاقة. وتنتج كميات كبيرة من الماء الثقيل عن طريق التبادل الحفزي للديوتريوم بين الماء وغاز كبريتيد الهيدروجين. وبعد ذلك يقطر الماء المشـــبع بالديوتريوم. وقد فصـــل جيلبرت لويس، وهو كيميائي من جامعة كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية، الماء الثقيل عن الماء العادي لأول مرة عام ١٩٣٢م.

٣- الماء فوق الثقيل(T_2O)

يتكون هذا الماء من ذرتين من نظر ذرة الهيدروجين المشع التريتيوم T)،($_1H^3$ الذي يحتوي على بروتون واحد واثنين من النيوترونات مع نظير ذرة الأكســـجين-١٦(O^{16}).

المياه المعالجة بالتريتيوم هو شكل إشعاعي للمياه حيث يتم استبدال ذرات الهيدروجين العادية مع التريتيوم. في شـــكله النقي قد يســـمى أكســـيد التريتيوم (T_2O_3)أو (H_2O_3) أو المياه فائقة الثقل (T_2O_3) النقي هو يتعرض للتآكل بســـبب الانحلال الإشعاعي الذاتي. كما انها تستخدم بمثابة كاشفة لدراسات نقل المياه في بحوث علوم الحياة. وعلاوة على ذلك، لأن الانحلال الإشـــعاعي يحدث بشـــكل طبيعي بكميات صـغيرة، فإنه يمكن اســتخدامها لتحديد عمر الســوائل المختلفة القائمة على المياه، مثل النبيذ أو الخمر.

٤- الماء المثقل بالأكسجين(H_2O^{18}).

يتكون هذا الماء من ذرتين من نظر ذرة الهيدروجين البروتونيوم ($_1H^1$) الذي يحتوي على بروتون واحد و نيوترون واحد مع نظير ذرة الأكســـجين-١٨ (O^{18})، الذي يحتوي على ٨ بروتونات و١٠ نيوترونات، فينتج هذا النوع من الماء الذي يسمى الماء الغني بالأوكسجين حيث تبلغ نسبته (٩٥٪) ويطلق علميا باسم المياه ذات العلامة المزدوجة Doubly Labeled Water.

من الجدير بالذكر ان هذا النوع من الماء يستخدم كهدف داخل السايكلوترون ليقصف فيما بعد بالنيترونات ليتم الحصول بعدها على نظير الفلور المشع F^{18}. تبلغ قيمة الملي لتر الواحد من هذا الماء تقريبا ٣٠ دولارا امريكيا.

الفصل الثاني
قسم الجودة

٢-١-المقدمة.

بعد الفراغ من تصنيع مادة السكر منقوص الاوكسجين المشعة FDG يجب اختبارها من حيث نقاء النويدات المشـــعة وهويتها الإشـــعاعية ونشـــاطها الكلي وصلاحيتها للحقن في جسم الانسان، كونها مادة صيدلانية (دوائية) وينبغي ان لا تسبب اضرارا جانبية أكبر من الفحص نفسه او ان تؤدي بحياة المرضى لأنها تأخذ عن طريق الوريد فيكون التعامل معها خطر وحذر جدا في الوقت نفســـه. ويمكن إجراء هذه الاختبارات باســـتخدام أنواع مختلفة من أجهزة قياس الإشـــعاع. ليس من الضرـــوري أن تكون هـذه الأجهزة جميعها متوفرة في مختبر فحص الجودة ويمكن الاقتصـــار على عدد معين من الفحوصـــات التي تشـــمل التحقق من النقاء الكيميائي والنقاء الإشـــعاعي والنقاء البايولوجي (خلو المادة الناتجة من البكتريا والفطريات والفايروســـات) ومســـتويات النشـــاط الإشـــعاعي ودرجة الحموضـــة PHلضمان صلاحية المركب للاستخدام الطبي.

مهام مختبر فحص الجودة:

١- **التأكد من نوع المادة المشـــعة (التي هي الفلورين $F^{١٨}$) ولا وجود لشـــوائب غيرها او ربما تحولها الى عنصر آخر (مثل النيتروجين N^{13}) وبالتالي تسبب الضرر الصحي للمريض أو ربما الموت لا سامح الله.**

٢- **التأكد من نوع الأشعة الصادرة من المادة المشعة وانها تحديدا هي أشعة (غاما وليس ألفا ولا بيتا ولا نيترونات) التي ســـوف تنتج من انـدماج الكترون- بويز ترون وأن تكون طاقتها ٥١٢Kev والتي سوف يلتقطها جهاز الـــ PET Scan ويرسم عن طريقها صورة ثلاثية الابعاد للمناطق المحددة للفحص.**

٣- **التأكد من عمر النصف لهذه المادة الفلورينF^{18} في مركب الـــ FGD والذي يجب أن يكون (١٠٥-١١٥) دقيقة لا غير.**

٤- **التأكد من خلو المادة الناتجة من المركبات الأخرى المســـاعدة في انتاج مادة الـ FDG مثل الاسيتونتريل والايثانول والكربتوفكس والتي من الممكن**

ان تتسبب بأضرار جسيمة في جسم المريض عموما وفي الأوعية الدموية خصوصا كأن تسبب حرقة قوية في الوريد أو أضرار أخرى.

٥- التأكد من خلو المادة من مركبات الإندوتوكسين الذي هو نوع من السموم البكتيرية الموجودة داخل الخلايا البكتيرية، يتم إطلاقه عند تحلل أو موت البكتيريا، وخاصة من نوع البكتيريا سالبة الجرام (Gram-negative bacteria). المكون الرئيس للإندوتوكسين هو الليبوبوليساكاريد (LPS)، وهو جزء من الغشاء الخارجي للبكتيريا. الإندوتوكسينات تسبب تفاعلات التهابية قوية عند دخولها إلى جسم الإنسان أو الحيوان، وقد تؤدي إلى أعراض مثل الحمى، الالتهاب، انخفاض ضغط الدم، وفي الحالات الشديدة قد تؤدي إلى الصدمة الإنتانية (septic shock) التي يمكن أن تكون قاتلة إذا لم يتم علاجها بشكل مناسب. الأمراض البكتيرية التي تشمل إطلاق الإندوتوكسينات تشمل التهابات مجرى الدم (sepsis) والتهابات أخرى ناجمة عن البكتيريا سالبة الجرام.

٦- التأكد من خلو المادة من البكتريا والفطريات عن طريق فحص التعقيم (sterility test) حيث يتم عن طريق وضع كمية معينة من مادة الـ FDG في الوسائط الزرعية والتي هي (Thioglycolate Broth) الخاصة بزراعة البكتريا اللاهوائية. وتوضع في الحاضنة المخصصة لها على درجة حرارة ٣٥ درجة مئوية والوسط الاخر هو (Tryptone Soy Broth) الخاص بزراعة الفطريات والبكتريا الهوائية حيث توضع في الحاضنة المخصصة لها بدرجة حرارة ٢٥ درجة مئوية. حيث تعتبر هذه المادة (Thioglycolate Broth) من المواد المغذية والمساعدة على نمو هذا النوع من البكتريا والفطريات.

٢-٢-الكواشف النووية.

لقد تطورت كواشف الأشعة النووية على اختلاف انواعها بصورة ملحوظة خلال العقدين الاخيرين ويعزى ذلك الى التطور الكبير في الإلكترونيات وأشـــباه الموصـــلات (ELCTRONICS&SIMCONDUCTROS) بصـــورة عامة والى زيادة اســتخدام الأشــعة النووية في المجالات المتعددة بصــورة خاصــة، وخلال الفترة نفســها تؤدي الانواع المختلفة من الكواشــف أغراضــا مختلفة مثل الكشــف عن انواع الأشعة وطاقتها اضافة الى موقع التفاعل وزمنه ونواتجه. ولكل كاشف مزاياه ومشاكله فلا يوجد كاشف يمكن استخدامه للأغراض كافة وانما نجد لكل كاشف صـفة ممتازة يتميز بها مثل قابليته العالية لتحليل الطاقة، ولكن في الوقت نفسـه قد تكون على حساب الصفات الأخرى. ومن الكواشف المطورة حديثا (الكاشف الوميضي الغازي التناسبي) والذي يعتمد على الجمع بين صفتي الكاشف الوميضي والكاشف التناسبي.

وتشــترك الكواشــف جميعها بصــفة جمع المعلومات من تفاعل الاشــعاع مع مادة الكاشف ولكنها تختلف في اسلوب جمع هذه المعلومات وكيفية تسجيلها، وأهم هذه الأساليب هي:

١- تحرير وجمع الشحنات بالقطب مثل الكواشف الغازية وشبه الموصلة.
٢- تحرر الفوتونات واستخدام مضاعف ضوئي للحصول على نبضة الكترونية مثل الكواشف الوميضية او انابيب النيون المضيئة.
٣- تغير كيميائي في المادة مثل المستحلب الصوري.
٤- تغير حراري مثل كواشف TLD.
٥- تحرر موجة صوتية تنتج من التفريغ الكهربائي مثل غرفة الشرارة.
٦- تغير فيزيائي في طول السلك بسبب التمغنط الناتج من مرور التيار مثل غرفة الشرارة متعددة الاسلاك.

إن تنوع الكواشف يستوجب تصنيفا ضمن مجموعات محددة ويعتمد تصنيف الكواشف على عوامل متعددة أهمها:

١. **نوع الاشعاع وطاقته وشدته مثل كاشف الأشعة السينية عالية الشدة أو كاشف النيوترونات الحراري.**
٢. **المادة الحساسة في الكاشف مثل الكواشف الغازية وشبه الموصلات.**
٣. **نوع التفاعل مثل الكاشف الوميضي، غرفة الشرارة، غرفة الفقاعة وغيرها.**
٤. **كواشف تتأثر بالأحداث مثل الكواشف الالكترونية، الضوئية، الصوتية، الكيميائية، أو الحرارية.**

٢-٣- محلل متعدد القنوات (كاشف أشعة غاما) Multichannel Analyzer.

محلل متعدد القنوات لكشف أشعة جاما هو جهاز يستخدم للكشف عن أشعة جاما، وهي نوع من الإشعاع الكهرومغناطيسي ذو طاقة عالية للغاية تصل الىkev ١٠٢٢. تعد أشعة جاما جزءًا من الطيف الكهرومغناطيسي، وتقع على الطرف الأقصى من الطيف حيث تحمل طاقة أكبر من الأشعة السينية يعمل الجهاز عن طريق تحويل الإشارات التناظرية (Analog) إلى إشارات رقمية (Digital) باستخدام محول تناظري-رقمي (ADC) يتم توزيع الإشارات على مجموعة من القنوات، حيث تمثل كل قناة نطاقًا محددًا من الطاقة. من خلال تحليل هذه البيانات، يمكن تحديد توزيع الطاقة للجسيمات أو الإشعاعات التي تم الكشف عنها، مما يساعد في تحديد نوع المادة المشعة أو دراسة خصائص التفاعلات النووية.

تُستخدم كواشف أشعة جاما في مجموعة متنوعة من التطبيقات، بما في ذلك:

١- الطب النووي: للكشف عن النظائر المشعة المستخدمة في التصوير الطبي والعلاج.
٢- الأبحاث الفلكية: لدراسة الأحداث الفلكية مثل انفجارات النجوم وانبعاثات أشعة جاما من الأجرام السماوية.
٣- الأمن النووي: للكشف عن الاشعاع ومنع التهريب النووي.
٤- البحوث العلمية: لفهم الظواهر الفيزيائية التي تنتج أشعة جاما، مثل التحلل الإشعاعي والعمليات النووية الأخرى.
٥- تحديد أنواع ونسب العناصر المشعة.
٦- التحليل الطيفي: لدراسة الأشعة السينية أو أشعة جاما في العينات المختلفة.
٧- التطبيقات الطبية: في الطب النووي والعلاج الإشعاعي.
٨- الأبحاث النووية: لدراسة الخصائص النووية للعناصر والجسيمات.

من أنواع كواشف أشعة جاما الشائعة هي كواشف السيليكون، كواشف الجرمانيوم النقي (HPGe)، وكواشف التعداد الوميضي، حيث تُستخدم مواد معينة لامتصاص وتحويل أشعة جاما إلى إشارات كهربائية يمكن تحليلها وقياسها.

تعد أجهزة التحليل متعددة القنوات (MCA) من الأدوات الأساسية في العديد من القياسات العلمية. تقوم أجهزة التحليل متعددة القنوات بتحليل تيار من نبضات الجهد وفرزها في رسم بياني أو "طيف" لعدد الأحداث، مقابل ارتفاع النبضة، والذي قد يرتبط غالبًا بالطاقة أو وقت الوصول، ثم يمكن عرض الطيف المخزن وتحليله.

يعد وجود ذروة لأشعة غاما بطاقة (٥١١kev) وغياب ذروات جاما الأخرى أحد العلامات المهمة والمعايير الدقيقة لتحديد وقياس نقاء النويدات المشعة ^{18}F الموجودة في FDG. يمكن الحصول على طيف جاما باستخدام مقياس طيف جاما الذي يتكون من محلل قناة واحدة أو متعدد القنوات مع كاشف يوديد الصوديوم أو الجرمانيوم، يمكن إجراء هذا الاختبار في مختبر آخر إذا لم يكن من الضروري تسجيل طيف جاما لكل دفعة من FDG.

عند دخول أشعة جاما إلى البلورة، فإنها تنتج إلكترونات مشحونة بسرعة من خلال ثلاث عمليات مختلفة:

١- التأثير الكهروضوئي.
٢- تأثير كومبتون (تشتت كومبتون).
٣- إنتاج الأزواج.

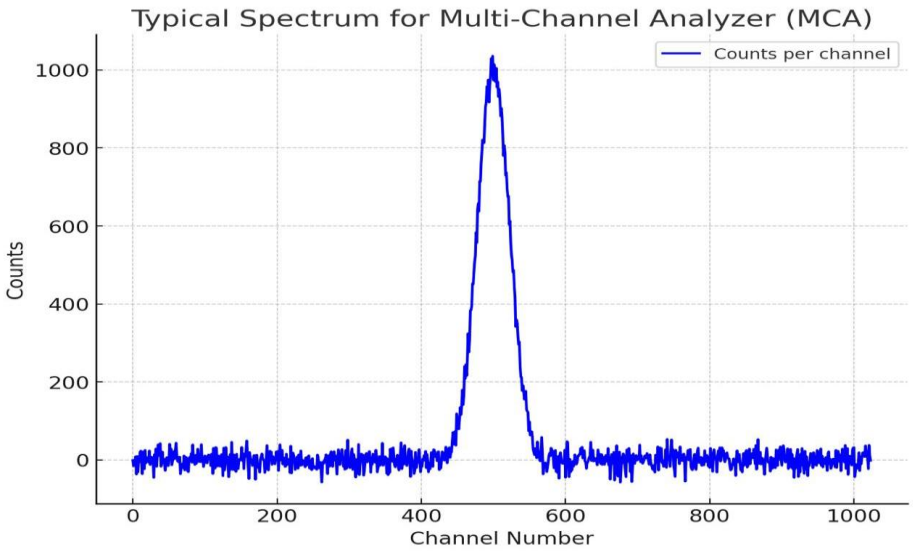
وهذه الإلكترونات السريعة هي التي تؤدي إلى الوميض، وليس أشعة جاما. وبالتالي فإن التوزيع الطيفي المرصود سيعتمد على عملية التفاعل التفصيلية لأشعة جاما في البلورة.

عندما يوضع مصدر مشع بالقرب من المادة الوامضة Scintillators، ينتج المضاعف الضوئي سلسلة من النبضات، كل منها يتوافق مع تحلل نواة واحدة. وترتبط سعة كل نبضة بطاقة الإلكترون المحرر بواسطة أشعة جاما. تتم دراسة هذه النبضات باستخدام إما محلل أحادي القناة أو متعدد القنوات. يقوم المحلل أحادي القناة (SCA) بحساب عدد نبضات الجهد التي يقع ارتفاعها ضمن نافذة (قابلة للتعديل) معينة من القيم، بينما يقوم المحلل متعدد القنوات (MCA)

بفرز النبضـــات وفقًا للارتفاع ويحســـب العدد في كل نافذة لإعطاء توزيـع طيفي (طاقة) للإلكترونات السريعة.

بشـــكل عام المحلل متعدد القنوات هو جهاز يســـتخدم في مجالات الفيزياء النووية والتحليل الطيفي للكشـــف عن الإشـــعاعات النووية أو الأشـــعة الســـينية والجاما. يُســـتخدم بشـــكل خاص في قياس وتحليل طيف الطاقة الصـــادرة عن الإشعاعات النووية أو الجسيمات المشحونة. يعمل المحلل متعدد القنوات على تقسيم الإشارات الكهربائية التي تصدر من أجهزة الكشف (مثل عدادات جايجر أو أجهزة الكشف شبه الموصلة) إلى عدة قنوات، وكل قناة تتعلق بمستوى معين من الطاقة.

يعمل الجهاز عن طريق تحويل الإشـــارات التناظرية (Analog) إلى إشـــارات رقمية (Digital) باســـتخدام محول تناظري- رقمي (ADC) يتم توزيـع الإشـــارات على مجموعة من القنوات، حيث تمثل كل قناة نطاقًا محددًا من الطاقة. من خلال تحليل هذه البيانات، يمكن تحديد توزيـع الطاقة للجسيمات أو الإشعاعات التي تم الكشف عنها، مما يساعد في تحديد نوع المادة المشعة أو دراسة خصائص التفاعلات النووية.



الشكل (١) يوضح طيفًا نموذجيًا للمحلل متعدد القنوات.

الرسـم البياني أعلاه يوضـح طيفًا نموذجيًا لمحلل متعدد القنوات (MCA). يمثـل المحور الأفقي القنوات، بينمـا يمثـل المحور العمودي عـدد الإشـارات (counts) التي تم رصـدها في كل قناة. يمكنك ملاحظة وجود قمة في منتصـف الطيف، والتي عادةً ما تشير إلى طاقة مميزة تم التقاطها بواسطة الجهاز.

ان امتصاص مادة الكاشف لطاقة الأشعة الساقطة يسبب تهيج الكتروني فيها وعند زوال التهيج ينتج فوتون ضـمن منطقة الطاقة المرئية تسـمى هذه العملية بالتلألؤ وهي على نوعين:

١. **وهي التي تحـدث خلال فترة زمنيـة مقـداره 10^{-8}Sec من مسـتويـات الانتقالات المسموحة.**
٢. **وتحدث خلال فترة زمنية مقدارها 10^{-6}Sec او اكثر، ان سـبب التأخر في هذا النوع يعود الى ان مسـتويات التهيج هي مسـتويات شـبه مسـتقرة (مستويات ممنوعة) لذلك تتطلب عملية إزالة التهيج انتقالا الى مستويات مسموح أولا ومن ثم العودة الى المستولى الارضي.**

يتكون المضاعف الضوئي من اسطوانة زجاجية مفرغة تطلى نافذتها المواجهة للمادة الوميضـية بمادة قلوية لتكوين الكاثود الضـوئي ،تتميز معظم المواد القلوية بقابلية انتاج الالكترونات عند امتصـاصـها للفوتونات ويكون اختيار المادة القلوية ملائم للمادة الوميضـية من ناحية الكفاءة الضـوئية والطول الموجي لأقصـى انبعـاث من الكاثود الضـوئي والـذي يتوافق جيـدا مع بلورة يوديـد الصـوديوم المنشطة بالثاليوم حيث ان أقـصـى كفاءة تتطابق تقريبا عند المدى نفسها من الطول الموجي للفوتون السـاقط .ان الالكترون المتحرر من الكاثود الضـوئي يواجه مجالا كهربائيا فيتجه نحو الدايود الأول، ان هذا المجال لا يوجه الالكترون نحو الدايود الأول فحسـب انما يكسـبه طاقة حركية تمكنه من تحرير الالكترونات من مادة الدايود الأول.

تتجه الالكترونات المتحررة من هذا الدايود الأول نحو الثاني مكتسـب طاقة حركية تمكنها من تحرير المزيد من الالكترونات من الدايود الثاني وهكذا يتضاعف

عدد الالكترونات بين الدايودات حتى تصل الى الانود حيث تنتج نبضة الفولتية على مقاومة الحمل. إن سعة النبضة الناتجة تتناسب طرديا مع طاقة الاشعاع الساقط على المادة الوميضية. يعد ثبات مجهز القدرة واستقراريته من اهم العوامل التي يجب توفرها في المضاعف الضوئي، فأن % ١ من التغير في المجهز يؤدي الى تغيير مقداره % ١٠ على الانود.

تستخدم الكواشف العضوية لمكشف عن أشعة بيتا والكواشف غير العضوية لمكشف عن الفوتونات بسبب كفاءتها العالية وكفاءة الكشف للأولى هي % ١٠٠ اما الثانية فهي تعتمد بشدة عمى طاقة أشعة غاما ويمكن معرفة كفاءة الكشف عن الفوتونات من حساب الجزء الممتص داخل البلورة واعتمادا على العلاقة الاسية التناقصية لامتصاص الفوتونات في المواد وهي:

$$I=I_0e^{-Mx} \quad \text{.....(1)}$$

حيث ان:

I: الأشعة الساقطة.

I_0: الأشعة النافذة.

$\mathcal{M}$: معامل الامتصاص والذي يعتمد بشدة على طاقة الفوتونات.

X :سمك المادة.

من مميزات هذا النوع من الكواشف هي:

١- ارتفاع كثافته مما يسهل قياس أشعة غاما حيث تكون عالية الامتصاص لأشعة غاما وبذلك تزيد حساسية العداد لقياسها من البلورات كثيرة الاستخدام بلوا رت يوديد الصوديوم المنشطة بالثاليوم.

٢- توجد البلورة الحساسة في رأس العداد في حافظة معدنية رقيقة تحميه من سقوط الضوء ومن دخول الرطوبة التي قد تفسد البلورة المكونة من يوديد الصوديوم. لبعض المضاعفات الضوئية. تصاحب هذه الطريقة خطورة الصدمة الكهربائية للعاملين عند عدم حصول تدرج كهربائي ملائم.

من أجل ربط هذا الطيف بالتحلل النووي، نحتاج إلى فهم كيفية تفاعل أشـعة غاما مع المادة.

الاشـعاع سـواء كان على شـكل جسـيمات مثل النيوترونات والبروتونات ودقائق الفا وبيتا او على شكل اشعاع كهرومغناطيسي مثل أشعة غاما وأشعة اكس (x) لها طاقة موصـــوفة بالإضـــافة الى مواصـــفات أخرى مثل الكتلة والطاقة الحركية والشـحنة والتي بمجملها تحدد طبيعة تفاعل هذه الاشـعاعات مع المادة. وعموما كل التفاعلات التي تحدث للإشـــعاع مع المادة ســـواء ادت الى امتصـــاص كامل او جزئي وتشـتت لطاقة الاشـعاع تعمل على تأين ذرات المادة جميعها تفقد عدد من الالكترونـات المـداريـة للـذرة لتتركهـا بحـالـة تـأين نتيجـة لفقـد هـذه الالكترونـات وتكون الذرة في هذه الحالة موجبة الشـــحنة نتيجة لهذا الفقد او من خلال اثارتها وذلك برفع الالكترونات الى المدارات الاعلى لتترك الذرة بحالة مسـتثارة أو أن يتم تحول الاشـــعاع من شـــكل لأخر مثل الفوتونات الناتجة من افناء الالكترون أو البوزيترون ولكن بالعموم تفقد الجســـيمات المشـــحونة معظم طاقتها بعملية التأين ،اما النيوترونات والفوتونات فأنها تفقد طاقتها بعملية التشتت والامتصاص لذا قام العلماء بدارسة هذه التفاعلات المختلفة كلها.

٢-٤- الكروماتوغرافيا الغازية (Gas Chromatography)

يحســـن بنا قبل الـدخول في تحليل وتعريف هـذا الاختبار ان نعرف بعض المصـطلحات العلمية حتى تتضـح فكرة عمل الجهاز بشـكل تام جدا. فمثلا كلمة Chromatography (كروماتوغرافيا) تشـير إلى تقنية لفصـل مكونات خليط من المواد الكيميائية أو البيولوجية. تعتمد هـذه التقنية على توزيـع المكونـات بين طورين، طور ثابت Stationary phase (عادة مادة صلبة أو سائل مثبت) وطور متحرك Mobil phase (عادة غاز أو سائل يجري خلال الطور الثابت). يتم فصل المكونـات بنـاءً على اختلافـات في معـدلات حركتهـا أو تفـاعلهـا مع الطورين. هـذا الاختلاف في السرعات هو ما يؤدي إلى فصل المكونات عن بعضها البعض. الطور المتحرك يؤدي دوراً حيوياً في نقـل وتحريـك المواد المراد تحليلهـا خلال النظـام الكروماتوغرافي.

الكروماتوغرافيا تسـتخدم بشـكل واسـع في الكيمياء والتحليل الكيميائي، بما في ذلك تحليل المواد الغذائية، الأدوية، العينات البيولوجية، والمواد البيئية.

ونقصـــد بالطور الثابت (Stationary Phase) في الكروماتوغرافيا هو المادة التي تظل ثابتة في مكانها ولا تتحرك مع الطور المتحرك. يتفاعل الطور الثابت مع مكونات العينة التي تمر من خلاله أو فوقه، مما يؤدي إلى فصـــل هذه المكونات بناءً على تفاعلاتها المختلفة مع الطور الثابت.

الطور الثابت يمكن أن يكون مادة صـــلبة، مثل الســـيليكا في الكروماتوغرافيا العمودية، أو يمكن أن يكون سـائلاً مثبتاً على سـطح مادة صـلبة، مثل الجل المائي في الكروماتوغرافيا الورقية. الطور الثابت يؤدي دوراً أساسياً في تحديد كيفية فصل المكونات في العينة.

ونقصـد بالطور المتحرك (Mobile Phase) في الكروماتوغرافيا هو المادة التي تتحرك خلال الطور الثابت، حاملةً معها مكونات العينة التي يراد فصـــلها. الطور المتحرك يمكن أن يكون ســـائلاً أو غازاً، ويتحرك عبر الطور الثابت، مما يســـمح للمكونات المختلفة في العينة بالتحرك بســـــرعات مختلفة بناءً على تفاعلها مع الطور الثابت .

هي تقنية تحليلية تُستخدم لفصل وتحليل المركبات الكيميائية الموجودة في مزيج او مركب دوائي معين. تعتمد هذه التقنية على تمرير غاز حامل (عادة يكون الهيليوم أو الهيدروجين) عبر عمود يحتوي على مادة ثابتة (غالبًا تكون مادة هلامية أو مسحوق دقيق). عندما يتم إدخال عينة من المزيج في العمود، تنفصل المكونات المختلفة للعين حسب تفاعلاتها المختلفة مع المادة الثابتة وخصائصها الفيزيائية والكيميائية.

كروماتوغرافيا الغاز هي عملية فصل المكونات من الدواء الخام المعطى باستخدام طور غازي متحرك تتضمن هذه الطريقة تبخير عينة وحقنها على رأس العمود الكروماتوغرافي. يتم نقل العينة عبر العمود بتدفق الطور المتحرك الغازي الخامل. يحتوي العمود نفسه على طور ثابت سائل يتم امتصاصه على سطح مادة صلبة خاملة. تتلخص آلية العمل في الخطوات التالية:

١- إدخال العينة: يتم حقن عينة صغيرة من المزيج في بداية العمود.

٢-الفصل: يتم حمل المكونات المختلفة للعين بواسطة الغاز الحامل عبر العمود، حيث تنفصل المكونات بناءً على اختلافات في درجة التفاعل مع المادة الثابتة.

٣-الكشف: بعد الانفصال، تمر المكونات عبر كاشف (غالبًا يكون كاشفًا مثل كاشف التأين باللهب أو كاشف الكتلة)، الذي يسجل الإشارة الناتجة عن كل مكون .

٤-تحليل النتائج: يتم تحليل البيانات الناتجة، والتي تظهر على شكل قمم على مخطط يسمى الكروماتوكرام. يتم تحديد هوية وكمية المكونات بناءً على مواضع القمم ومساحاتها.

هذه التقنية تستخدم بشكل واسع في العديد من المجالات مثل الصناعات الدوائية والبتروكيماوية، تحليل الزيوت، مراقبة جودة الأغذية، والبحوث الكيميائية.

٢-٥- جهاز TLC Scanner

هو تقنية تحليلية (Thin Layer Chromatography) كروماتوغرافيا الطبقة الرقيقة، لتحليل وفحص الطبقات الرقيقة من مكونات خليط معين.

في تقنية TLC، يتم فصل مكونات العينة على طبقة رقيقة من مادة صلبة مثل السيليكا أو الألومينا المثبتة على صفيحة زجاجية أو بلاستيكية. بعد أن تتحرك المكونات المختلفة عبر الطبقة بفعل الطور المتحرك Mobil Phase، يمكن استخدام جهاز TLC Scanner لتحليل هذه الطبقة.

يعمل جهاز TLC Scanner على مسح الطبقة الرقيقة باستخدام تقنيات مختلفة مثل الأشعة فوق البنفسجية أو قياس الامتصاص الضوئي، ويقوم بتحديد المواقع التي تواجدت فيها المكونات المختلفة، وحساب الكميات النسبية لكل مكون. هذا الجهاز يوفر دقة عالية وسرعة في التحليل، ويستخدم بشكل واسع في الأبحاث الكيميائية، الصيدلانية، وفي تحليل المواد الغذائية والعينات البيولوجية. ويمكن تلخيص خطوات ووظيفة الجهاز بما يلي:

١-بعد إجراء عملية الفصل الكروماتوغرافي باستخدام TLC، يعمل جهاز TLC Scannerعلى قياس وتحليل البقع التي تم تكوينها على الطبقة الرقيقة. يمكن للجهاز تحديد مواقع البقع وكثافتها، فيسمح بحساب تركيز كل مكون تم فصله.

٢-طرائق الكشف الأشعة فوق البنفسجية :(UV Detection) يتم مسح الطبقة الرقيقة بأشعة فوق بنفسجية لتحديد المركبات التي تمتص الأشعة عند أطوال موجية معينة.

٣-الامتصاص الضوئي (Densitometry) يستخدم الجهاز تقنية قياس الامتصاص الضوئي لتحليل شدة الضوء الذي يمتصه كل مكون على الطبقة الرقيقة. يمكن أن يكون هذا الضوء في نطاق الأشعة المرئية أو فوق البنفسجية.

٤-التألق الضوئي (Fluorescence Detection) بعض المركبات قد تظهر تألقاً عند تعرضها لأشعة معينة، ويمكن للجهاز قياس شدة هذا التألق لتحديد كمية المكونات.

٥- التحليل الكمي بالإضافة إلى تحديد مواقع البقع، يمكن لـــ TLC Scanner توفير معلومات كمية عن المكونات المختلفة في العينة من خلال تحليل شـــدة الإشارة الناتجة عن كل بقعة. ويستخدم هذا الجهاز في عدة مجالات منها:

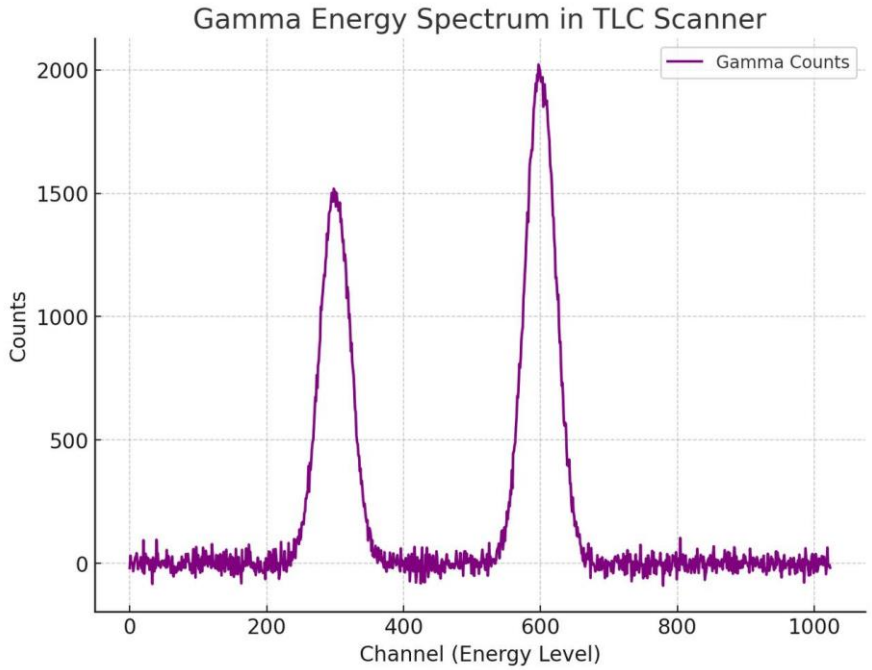
١- الصـــناعة الصـــيدلانية: يســـتخدم لتحديد نقاوة المواد الفعالة في الأدوية وتحليل الملوثات.

٢-الكيمياء التحليلية: يساعد في تحليل المركبات العضوية المعقدة.

٣-الكيمياء الحيوية: لتحليل البروتينات والأنزيمات والحمض النووي.

٤-التحليل الغذائي: للكشف عن الملوثات والمواد الحافظة في الأغذية.

٥-البرامج والتحليل الرقمي: تتصـــل أجهزة TLC Scanners الحديثة ببرامج تحليل متقدمة تقوم بمعالجة البيانات وتحويلها إلى رسـوم بيانية وتقارير تحليلية تسـهل تفسـير النتائج باسـتخدام جهاز TLC Scanner، يمكن إجراء تحليل دقيق وسريع للعينات، مما يوفر معلومات مهمة تتعلق بجودة المنتج أو تركيبة العينة بشكل عام.



الشكل (٢) يوضح طيف أشعة غاما في جهاز TLC

٢-٦- جهاز اختبار التعقيم Sterility Test

هو أداة أو مجموعة أدوات تستخدم لتحديد ما إذا كانت المنتجات أو العينات خالية من الكائنات الحية الدقيقة القادرة على التكاثر، مثل البكتيريا والفطريات. يُستخدم هذا الاختبار بشكل أساس في الصناعات الصيدلانية، والطب، والأجهزة الطبية، لضمان أن المنتجات المعقمة لا تحتوي على أي تلوث ميكروبيولوجي.

توجد عدة طرائق لاختبار التعقيم يمكن تلخيصها بما يلي:

١-الطريقة التقليدية. وهي الترشيح الغشائي (Membrane Filtration) يتم تمرير عينة سائلة عبر غشاء يحتوي على مسامات صغيرة تحتفظ بالكائنات الحية الدقيقة. ثم يُزرع الغشاء على وسط غذائي يسمح بنمو أي ميكروبات موجودة.

٢-طريقة غير مباشرة (Indirect Inoculation) يتم إضافة العينة مباشرة إلى وسط غذائي مناسب للكائنات الحية الدقيقة، ويتم تحضينها لفترة زمنية محددة، مع مراقبة أي نمو ميكروبي.

٣- الطرق الحديثة.

ا-الأجهزة الآلية (Automated Sterility Testing Devices) تستخدم بعض الأنظمة الحديثة أجهزة آلية لتحليل العينات بشكل أسرع وأكثر دقة من الطرائق التقليدية. تتضمن هذه الأجهزة حساسات لقياس التلوث الميكروبي ومراقبة نتائج النمو الميكروبي تلقائيًا.

ب- اختبارات الكشف السريع (Rapid Detection Tests) تستخدم تقنيات مثل البيولوجيا الجزيئية مثل الـ PCR للكشف عن وجود المادة الوراثية للكائنات الدقيقة دون الحاجة إلى فترات حضانة طويلة.

هناك تطبيقات عدة لاختبار التعقيم تتلخص بما يلي:

١-الصناعات الصيدلانية. لضمان أن الأدوية المعقمة، مثل الحقن والأدوية الوريدية، خالية من التلوث الميكروبي. المعدات الطبية: لضمان أن الأدوات الجراحية وأجهزة الزرع (مثل القسطرة والأنابيب) خالية من الكائنات الحية الدقيقة.

٢-المستحضـــرات الحيوية. بما في ذلك اللقاحات ومنتجات الخلايا، لضمان سلامتها من التلوث.

تتضمن أهمية اختبار التعقيم ما يلي:

١-سـلامة المنتج: يضـمن اختبار التعقيم أن المنتجات الصـيدلانية والطبية آمنة للاسـتخدام البشـــري ولا تحتوي على كائنات حية قد تسـبب التهابات أو أمراض.

٢- متطلبات تنظيمية: يشـــترط اختبار التعقيم في العديد من اللوائح والمعايير الدولية لضمان جودة المنتجات المعقمة.

أخيرا ان اختبار التعقيم ضروري لضـــمان أن المنتجات المعقمة تلبي معايير السلامة والجودة المطلوبة قبل أن تصل إلى المستهلكين أو المرضى.

٢-٧-التعبئة والتحضير للتوزيع

بعد نجاح اختبارات الجودة والتأكد من سلامة المنتج يبدأ دور التعبة والنقل الى القسم الثالث والأخير من أقسام المركز وهو قسم الحقن والتصوير.

بشكل عام تحول المادة المشعة الفلورين (F^{18}) من قلب السايكلوترون عبر أنابيب مطاطية محاطة بحواجز رصاصية لمنع تسرب الاشعاع الى مناطق العمل حتى تصل الى مختبر خاص يسمى المختبر الحار (Hot Lab) حيث يتكون هذا المختبر من منظومة أجهزة كبيرة ومفصولة عن بعضها البعض ومعزولة عن محيط العمل والعاملين بحواجز رصاصية بسمك عال جدا لتمنع تسرب الأشعة منها الى الخارج.

يُعد جهاز التوليف FAST lab نظامًا آليًا مُتكاملًا يُستخدم في تحويل النظائر المشعة، مثل الفلورين $F^{١٨}$، التي يتم إنتاجها خارجيًا باستخدام السايكلوترون إلى مواد كيميائية مشعة جاهزة لفحص الجودة، فضلاً عن استخدامها في التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET).

في هذا النظام، يتم نقل الفلورين المشع $F^{١٨}$ إلى وحدة التخليق فيFAST lab حيث يتم تمرير الماء المحتوي على فلوريد $F^{١٨}$ عبر عمود تبادل الأنيون.

أثناء هذه العملية، يرتبط الفلوريد بالعمود. بعد ذلك، يتم ضخ محلول مكوّن من أمينو بولي إيثر (Kryptofix) وكربونات البوتاسيوم(K_3CO_3) في الأسيتونتريل (C_2H_3N) الماء عبر عمود التبادل لغسل الفلوريد $F^{١٨}$، ثم يتم جمع الفلوريد المغسول في وعاء تفاعل يحتوي على حوالي ١,٧ مل من الأسيتونتريل.

يتم تبخير المذيبات بواسطة التسخين إلى ١٢٥ درجة مئوية. بعد ذلك، يتم تجفيف محتويات وعاء التفاعل باستخدام النيتروجين مع تطبيق الفراغ لمدة ٩ دقائق تقريبًا لضمان جفافها الكامل، مما يجعل المادة الكيميائية المشعة جاهزة للاستخدام.

بعد ذلك، تم إضافة تريفلات المانوز $C_nH_2nO_n$ المذابة في الأسيتونتريل إلى حجرة التفاعل، حيث تم تسخين الخليط لمدة دقيقتين تقريبًا.

هذا التسخين يسمح بحدوث عملية استبدال نووي حيث يتم استبدال مجموعة التريفلات بأيون فلوريد $F^{١٨}$، مما ينتج عنه مركب فلورو-تترا-أسيتيل-جلوكوز (F^{18}-TAG).

بعد تكوين المركب (F^{18}-TAG)، تم خلط محتويات حجرة التفاعل مع الماء، ومن ثم تم تمريرها عبر الفلتر (Sep-Pak Waters). هذه الخرطوشة (الفلتر) تعمل على الاحتفاظ بالمركب F^{18}-TAG، في حين أن المواد غير المرتبطة والمكونات غير المرغوب فيها تم غسلها عبر الخرطوشة وتوجيهها إلى حاوية نفايات خاصة.

في المرحلة النهائية من عملية التوليف، تم تمرير محلول هيدروكسيد الصوديوم عبر خرطوشة (الفلتر) التبادل لتحرير وتحليل مركب F^{18}-FTAG

يتم بعد ذلك خلط المادة المستخلصة مع الماء، وضبط درجة حموضته باستخدام محلول فوسفات عازل، بعد تعديل درجة الحموضة، يتم تمرير المحلول العازل عبر خراطيش (مرشحات) الألومينا، (Sep-Pak Waters) بهدف إزالة أي شوائب متبقية.

أخيرًا، يتم تمرير المركب الناتج، وهو F^{18}-FTAG (فلوروديوكسي غلوكوز المشع)، من خلال مرشح دقيق بحجم ٠,٢٢ ميكروميتر لضمان نقاءه، ويتم جمعه في قارورة معقمة. تبلغ مدة هذه العملية بالكامل حوالي ٢٢ دقيقة. تنقل القارورة بقالب رصاصي سمكه ٤٤ ملم ووزنه ١٨ كغم وتنقل عبر خطوط النقل الى قسم الحقن والتصوير الاشعاعي.

اختبار السموم الداخلية

اختبار السـموم الداخلية في الأدوية (Endotoxin Testing) هو جزء مهم من ضـمان جودة وسـلامة الأدوية والمنتجات الطبية، خاصـة تلك التي تُحقن في الجسم أو تُستخدم في العمليات الجراحية. السموم الداخلية (Endotoxins) هي مكونات جدران خلايا البكتيريا سـالبة الجرام، وتحديدًا اذا وجد المركب المسـمى طبيا عديدات السـكريد الدهنية (Lipopolysaccharides-LPS) اذا وُجدت بكميات كبيرة في الأدوية أو الأجهزة الطبية، يمكن أن تسـبب ردود فعل شـديدة مثل الحمى، الصدمة الإنتانية، وحتى الوفاة.

طرائق اختبار السموم الداخلية

هناك عدة طرائق لاختبار وجود السموم الداخلية في الأدوية والمستحضـرات الطبية، من بينها:

أولا: اختبار الليمول Limulus Amebocyte Lysate - (LAL) وهذا الاختبار هو الأكثر شـيوعًا لاختبار السـموم الداخلية. يعتمد على دم سرطان حدوة الحصـان (Limulus polyphemus) الذي يحتوي على خلايا خاصـة تتخثر عند وجود السموم الداخلية.

هناك ثلاثة أنواع من اختباراتLAL :

١- اختبار الجل الكاشـف Gel يعتمد اختبار السـموم الداخلية البكتيرية على تكوين جل كاشـف LAL في وجود السـموم الداخلية. يجب إجراء هذا الاختبار في بيئة منظمة حرارياً وخالية من الاهتزازات. يمكن فحص تكوين الجل يدويًا أو باسـتخدام جهاز قياس العكارة. بدلاً من ذلك، يمكن إجراء اختبار السـموم الداخلية باسـتخدام قارئ اختبار السـموم الداخلية، وهو أبسـط ويوفر قدرًا كبيرًا من الوقـت. يعتمـد الجهـاز على قيـاس العكارة أو الحركيـة. يتطلـب الاختبار ٢٠ دقيقة تقريبًا ويوفر نتيجة اختبار يمكن قراءتها بسـهولة وتقييمًا كميًا لمستويات السموم الداخلية.

٢- التوربيدومترية: يعتمد على قياس كمية التعكر الناتجة عن التخثر.

٣- الكروموجيني: يقيس تغير اللون الناتج عن تفاعل كيميائي بين السموم والمواد الموجودة في الدم.

ثانيا: اختبار الحمى في الأرانب (Rabbit Pyrogen Test).

هذا الاختبار التقليدي يتم باستخدام الأرانب حيث يتم حقن الدواء في جسم الأرنب، وإذا كانت السموم الداخلية موجودة، ترتفع درجة حرارة الأرنب. هذا الاختبار كان شائعًا قبل استخدام اختبار الليمول ولكنه لا يزال يُستخدم في بعض الأحيان للتحقق من أمان المنتجات.

ثالثا: تقنيات جديدة (Recombinant Factor C Assay)

تقنيات حديثة تستغني عن استخدام الحيوانات وتعتمد على البروتينات المُعاد تشكيلها (recombinant proteins) التي تتفاعل مع السموم الداخلية بطريقة مشابهة لاختبار الليمول ولكن بدون الاعتماد على دم الحيوانات.

أهمية اختبار السموم الداخلية.

تتركز اهمية اختبار السموم فيما يلي:

١- في الأدوية القابلة للحقن يجب التأكد من أن أي دواء يُحقن في جسم الإنسان خالٍ تمامًا من السموم الداخلية لمنع ردود الفعل الضارة.

٢- الأجهزة الطبية: مثل القساطر والأنابيب التي تدخل الجسم يجب أن تكون خالية من السموم الداخلية.

٣- اللقاحات: كونها تحتوي على مكونات بكتيرية أو فيروسية معطلة أو مضعفة، فيجب اختبارها بدقة لضمان عدم احتوائها على سموم داخلية.

التنظيم والمعايير

تضـــع هيئات مثل إدارة الغذاء والدواء الأمريكية، (FDA) المنظمة الدولية لتوحيـد المقـاييس (ISO) معـايير صـــارمـة لاختبـار الســـموم الـداخليـة في المستحضـــرات الطبية. ويجب على الشـــركات المصنعة الالتزام بهذه المعايير لضمان سلامة المنتجات.

التعبئة

بعد اكمال اختبارات فحص الجودة يتم تعبئة منتوج FDG المُنقى في حاويات خاصة مناسبة للنقل والاستخدام الطبي. تكون هذه الحاويات اسطوانية الشكل ومصنوعة من الرصاص بحيث تزن كل اسطوانة ١٨ كغم وسمك ٤٤ ملم لتكون كافية لحجب الاشـــعاع النووي عن العاملين في المركز الطبي ،والجدير بالذكر انها تكون آمنة الى جرعة مقدارها ٢٥٠-١٠٠٠ ملي كيوري أما اكثر من ذلك فيمكن أن تتسرب الأشعة الى الخارج وتسبب مشاكل للعاملين في المركز الطبي.

التوزيـع

يتم توزيـع FDG إلى مراكز التصـوير الطبي مع تسـجيل النشـاط الإشـعاعي والتركيز لضمان الجرعة الصحيحة للمرضى.

الفصل الثالث

قسم التصوير الطبي

التصوير المقطعي بالإشعاع البوزيتروني(PET CT)

٣-١-المقدمة.

التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني (PET/CT)، هو تقنية تصوير في الطب النووي، تبين صور ثلاثية الأبعاد لبعض أعضاء الجسم التي يشك فيها أنها مصابة بمرض السـرطان، ويُعد الفحص مفيدًا في الكشـف في العديد من الحالات أو تشخيصها، بما في ذلك العديد من أنواع السـرطان، وأمراض القلب، واضطرابات المخ. التصـوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني – التصـوير المقطعي الكمبيوتري (المعروف باسم PET/CT) هو تقنية في الطب النووي تجمع في منصة واحدة بين ماسح التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET) وماسح التصوير المقطعي المحوسب بالأشعة السينية (CT)، لالتقاط صور متسلسلة من كلا الجهازين في الجلسـة نفسـها، والتي يتم دمجها في صـورة واحدة متراكبة (مسـجلة بشـكل مشـترك). وبالتالي، يمكن محاذاة التصـوير الوظيفي الذي تم الحصـول عليه بواسطة PET، والذي يصور التوزيع المكاني للنشاط الأيضـي أو الكيميائي الحيوي في الجسم، أو ربطه بشكل أكثر دقة بالتصوير التشـريحي الذي تم الحصول عليه بواسـطة التصـوير المقطعي المحوسـب. يمكن تقديم إعادة بناء الصـور ثنائية وثلاثية الأبعاد كدالة لبرنامج ونظام تحكم مشترك.

يُمكن حقن المادة المشعة أو ابتلاعها أو استنشاقها، اعتمادًا على العضو أو الأنسـجة التي يتم فحصـها. تتجمع المادة المشـعة في مناطق الجسـم ذات المسـتويات العالية من النشـاط، وفي فحص التصـوير المقطعي، تظهر هذه المناطق على شكل بقع مضيئة.

٣-٢-إجراءات الPET/CT للمرضى

أولا: يتم تسجيل عمر وطول ووزن المرض وعلى أساس ذلك (الوزن تحديدا) تحدد كمية المادة المشعة التي ينبغي ان تحقن في جسم المريض، حيث ان كل ١٠ كغم تقابل ١ ملي كيوري الى حد ١٠ ملي كيوري كحد اقصى للجرع المعطاة.

ثانيا: فحص قيمة السكر في دم المريض وهو صائم وتقييمه، ثم يتم حقن المادة المشعة قصيرة العمر أو ما تسمى بـ "مادة التصوير" او المتتبع (tracer)، هذه المادة الخاصة بالتصوير مادة مشعة، يستغرق انتشارها في الدورة الدموية مدة 90- 45 دقيقة، وهي فترة ينتظر فيها المريض، وهو "مستلق" على السرير تحت ضوء خافت ونشاط جسمي يفضل أن يكون صفرا حتى لا تنشط بعض العضلات التي تستنزف السكر الموجود في المادة المشعة وبالتالي لا يمكن تحديد الخلايا السرطانية بدقة عالية.

وإذا كان الهدف هو تصوير المخ، فيجب أن يرتاح المريض قبل حقن الجرعة المشعة لمدة ٢٠ -٣٠ دقيقة دون أن يتكلم أو يقرأ أو يستمع لأي شيء يثير انتباهه ويرفع نبضه أو يجعله يتحرك بأية حركة مهما كانت بسيطة، وذلك من أجل راحة المخ عن طريق غلق استشعارات وتنبهات المخ جميعها.

وبعد الانتهاء من فترة الاستراحة والانتظار يتم نقل المريض إلى غرفة التصوير والمسح البوزيتروني الكمبيوتري، وبعد استلقاء المريض على سرير الجهاز بالوضعية المناسبة للتصوير، يبدأ التصوير والمسح الذي يستغرق نحو ٧ – ١٥ دقيقة، وبعد بدأ التصوير يتم تحريك السرير ببطء ليمر الجسم خلال الجهاز بوضعيات مختلفة مناسبة لنوع الفحص المكان المستهدف أو المشكوك فيه بوجود مرض السرطان. ويبقى المريض خلال فترة التصوير ساكنًا، ويتنفس بشكل اعتيادي ودون حركة وهو "مستلق" على سرير الجهاز لسلامة التصوير.

أخيرا إن الفترة الزمنية الإجمالية تستغرق ساعتين تقريبًا لكل مريض، وهي الفترة التي تتضمن إعداد المريض والقيام بإجراءات التصوير.

٣-٣-هل هو آمن وهل ينتقل لأفراد الأسرة؟

نعم هو آمن، فالمادة المشعة FDG التي تحقن في الدورة الدموية للمريض، هي مادة عمرها قصير (١٠٩دقيقة تقريبا)، وتخرج بسرعة من الجسم عن طريق الكلية ومنها الى الجهاز البولي. يُوصى بعدم اقتراب المريض من الأطفال أو النساء الحوامل حتى يتخلص المريض من المادة المشعة التي حقنت في دورته الدموية بعد ٤ – ٦ ساعات بشكل كامل.

هناك عدة أمور ينبغي الالتزام بها بالنسبة للمرضى قبل الفحص هي:

١-احضارالأشعة والتحاليل الأخيرة.

٢-الامتناع عن الأطعمة والمشروبات لمدة ٦ ساعات قبل الفحص على الاقل.

٣-الإكثار من شرب المياه فقط قبل وأثناء الفحص.

٤-تناول الدواء المعتاد للمريض خاصة مرضى "السكر" قبل الفحص بخمس ساعات بحيث لا يزيد على ١٩٠.

٥-تجنب (النشويات بالطعام، التدخين والقهوة، الجهد العضلي الزائد) قبل الفحص بـ ٢٤ ساعة.

٦- ممنوع ارتداء المشغولات المعدنية (خاصة الحلق والسلاسل).

٧- في حالة إحضار مرافق يرجى اصطحاب مرافق واحد فقط، وعدم اصطحاب الأطفال والحوامل.

٨- مرور خمسة عشر يوميًا من آخر جرعة للدواء الكيماوي.

٩- إحضار فحص الـ PET/CT السابق إن وجد أو أية أشعة وتحاليل سابقة.

١٠- إحضار تحليل وظائف كلى حديث قبل عمل الفحص.

١١- ضرورة التأكد من عدم وجود حمل للسيدات المتزوجات، إما باختبار حمل أو كتابة إقرار بعدم وجود حمل على مسؤولية المريض.

٣-٤- السرطان

فحوص التصـــوير المقطعي قد تكون مفيدة في عدة حالات عندما يتعلق الأمر بالكشف عن السرطان، ومن بين هذه الفوائد:

١. الكشف المبكر عن الســـرطان: التصوير المقطعي يمكن أن يساعد في الكشف عن الأورام السرطانية في مراحل مبكرة قبل أن تظهر الأعراض.
٢. تحديد موقع الورم: يمكن للتصـوير المقطعي أن يوضـح مكان الورم بدقة، مما يساعد الأطباء في تحديد الخطة العلاجية المناسبة.
٣. تحديد حجم الورم وانتشـاره: التصـوير المقطعي يعطي فكرة عن حجم الورم وما إذا كان قد انتشر إلى مناطق أخرى من الجسم.
٤. تقييم فعالية العلاج: بعد بدء العلاج، يمكن اســـتخدام التصـــوير المقطعي لمتابعة تطور الورم وتقييم مدى استجابة الجسم للعلاج.
٥. المســـاعدة في تحديد التوجيه الجراحي: التصـــوير المقطعي يمكن أن يســـاعد الجراحين في التخطيط للعمليات الجراحية، خاصـــة إذا كان الورم في منطقة معقدة أو حساسة.
٦. الكشـف عن تكرار السرطان: في حالة العودة المحتملة للسرطان بعد العلاج، يمكن للتصوير المقطعي أن يساعد في الكشف عن أي أورام جديدة .

هذه الفحوص تعتمد بشـكل كبير على التقاط تفاصـيل دقيقة للنشـاط غير الطبيعي في الجسم، والذي يظهر بشكل واضح في الصور بسبب التباين بين الخلايا السرطانية والخلايا الطبيعية.

هناك العديد من الأورام الصلبة التي يمكن اكتشافها بواسطة فحوص التصوير المقطعي بالإشعاع البوزيتروني (PET scan) وتشمل:

١. أورام المخ: التصـوير المقطعي بالإشـعاع البوزيتروني يمكن أن يسـاعد في تحديد الأورام الدماغية وتقييم نشاطها الخلوي.
٢. أورام عنق الرحم: يستخدم PET scan لتحديد مدى انتشار الســـرطان في عنق الرحم إلى العقد اللمفاوية أو الأعضاء الأخرى.

٣. أورام القولون والمستقيم: يمكن لهذا الفحص أن يساهم في اكتشاف وتقييم انتشار سرطان القولون والمستقيم.
٤. أورام المريء: يُستخدم PET scan لتقييم انتشار الأورام الخبيثة في المريء إلى الأنسجة المحيطة والأعضاء الأخرى.
٥. بالإضافة إلى هذه الأنواع، يُستخدم التصوير المقطعي بالإشعاع البوزيتروني أيضًا للكشف عن العديد من أنواع السرطان الأخرى مثل:

١-سرطان الرئة.

٢- سرطان الثدي.

٣-سرطان البروستاتا.

٤- سرطان الغدد اللمفاوية.

يعمل PET scan على تصوير العمليات البيولوجية التي تجري داخل الخلايا ويتيح الكشف عن التغيرات الأيضية التي غالبًا ما تكون مؤشرًا مبكرًا على تطور السرطان.

3-5-قسم التفسير والتحليل نتائج التصوير البوزيتروني.

تفسير وتحليل نتائج التصوير البوزيتروني (PET Scan) يعدّ عملية متخصصة ومعقدة، تعتمد على مراجعة ودراسة الصور التي تنتج عن الفحص وتحديد النقاط التي تشير إلى نشاط غير طبيعي. إليك تفاصيل تقسيم هذه العملية:

- تحديد مناطق النشاط المرتفع: يتم استخدام مواد مشعة (مثل الجلوكوز المشع) لتتبع النشاط الأيضي في الجسم. الخلايا السرطانية تميل إلى استهلاك الجلوكوز بمعدل أعلى من الخلايا الطبيعية، مما يؤدي إلى تجمع أكبر للمادة المشعة في المناطق المصابة، والتي تظهر كنقاط مضيئة على الصور.
- تحليل الصور الإشعاعي: يقوم اختصاصي الطب النووي أو اختصاصي الأشعة بتحليل الصور التي تظهر النشاط الأيضي المختلف في الأنسجة. يتم التحقق من توزيع المواد المشعة في الجسم، وتحديد ما إذا كانت هناك تراكمات غير طبيعية.
- مقارنة النشاط مع الأنسجة الطبيعية: يقوم الأخصائي بمقارنة المناطق التي تظهر نشاطًا عاليًا مع الأنسجة الطبيعية لمعرفة ما إذا كان هذا النشاط غير طبيعي ومؤشرًا على وجود ورم. هذه المقارنة تساعد في تحديد ما إذا كانت هذه النقاط المضيئة تشير إلى أورام سرطانية أو حالات أخرى.
- تصنيف النتائج: بعد تحليل الصور، يتم تصنيف النتائج بناءً على مظهر وشدة التراكمات الإشعاعية. قد يتم تصنيف النتائج كإيجابية إذا كانت تشير إلى نشاط سرطاني محتمل، أو سلبية إذا لم يظهر أي نشاط غير طبيعي، أو غير حاسمة إذا كانت النتائج غير واضحة وتحتاج إلى فحوص إضافية.
- تقرير النتائج والتوصيات: بعد تحليل الصور، يتم إعداد تقرير يتضمن تفاصيل النتائج، مثل تحديد مواقع الأورام المحتملة، حجمها، ومدى انتشارها. بناءً على ذلك، قد يتم توصية بإجراء مزيد من الفحوص، أو تحديد خطة علاجية مثل الجراحة أو العلاج الكيميائي أو الإشعاعي.

- **المتابعة: في حالات متابعة العلاج، يتم مقارنة نتائج التصـــوير الجديد بالصـــور الســـابقة لمراقبة مدى اســـتجابة الورم للعلاج وتقييم ما إذا كان هناك تحسـن أو تدهور في الحالة، التفسـير يتطلب خبرة كبيرة من الأطباء المتخصـصـين، لأنه في بعض الأحيان قد يظهر نشـاط غير طبيعي في بعض الأنســجة بســبب التهابات أو حالات أخرى غير سرطانية، لذا يتم تفســير النتائج دائمًا ضمن السياق السريري الكامل للمريض.**
- **استخدام برمجيات متقدمة لتحليل الصور والبيانات.**

أقسام ساندة وإدارية

- **غرف الانتظار والاستقبال:**

- **تجهيزات لاستقبال المرضى وتجهيزهم للإجراءات المختلفة.**
- **غرف مريحة تتوافق مع معايير السلامة الصحية.**

- **وحدات إدارية: تضـــم مكاتب لإدارة العمليات اليومية والتواصـــل مع المرضى وإدارة الجداول.**
- **مســـتودعات التخزين: أماكن آمنة لتخزين المواد المشـــعة والأدوية والمعـدات الطبيـة. هـذه المكونـات تعمـل معًـا لتقـديم خـدمـات تشـخيصـية وعلاجية عالية الجودة في مجال الطب النووي، مع التركيز الكبير على الأمان والدقة.**

٣-٦- أنواع الفحوصات في قسم التصوير

وكخاتمة لهذا الفصل ندرج فيما يلي مجموعة الفحوصات والتي تتم في قسم التصوير في مركز الكوثر للطب النووي وهي:

١. (فحص FDG PET/CT):FDG PET/CT SCAN

وهو فحص يجمع بين التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET) والتصوير المقطعي المحوسب (CT). يتميز باستخدام مادة فلورو- ديوكسي- غلوكوز (FDG) المشعة التي تُظهر نشاط الخلايا.

آلية العمل:

١. يتم حقن المادة المشعة FDG في الوريد.

٢. تنتقل المادة عبر الدم إلى الخلايا، وتتركز في المناطق التي تستهلك طاقة عالية، مثل الخلايا السرطانية.

٣. جهاز PET يكتشف الإشعاع الناتج عن FDG، ويقوم بإنشاء صورة تُظهر النشاط الخلوي.

٤. يتم دمج صور PET مع صور التصوير المقطعي (CT) لإظهار التفاصيل التشريحية للنسيج.

الاستخدامات:

- تشخيص الأورام السرطانية: لتحديد وجود الأورام وانتشارها.
- متابعة العلاج: تقييم فعالية العلاجات الكيميائية والإشعاعية.
- أمراض القلب: لتحديد المناطق التالفة في عضلة القلب.
- أمراض الجهاز العصبي: مثل الصرع والزهايمر.

تحضيرات المريض:

- الصيام لمدة ٦-٨ ساعات قبل الفحص لتجنب التداخل مع المادة المشعة.
- تقليل النشاط البدني قبل الفحص لضمان دقة النتائج.
- إبلاغ الطبيب بأي أدوية يتناولها المريض.

النتائج المتوقعة:

- مناطق النشاط المرتفع تشير إلى وجود خلايا سرطانية أو مناطق متضررة.

٢. (فحص PMSA) PMSA Scan

فحص متخصص للكشف عن سرطان البروستاتا باستخدام مادة مشعة ترتبط بمستقبلات PMSA الموجودة في الخلايا السرطانية.

آلية العمل:

١. يُحقن المريض بمادة مشعة ترتبط بمستقبلات PMSA في خلايا البروستات.

٢. تصدر المادة إشعاعات تُلتقط بجهاز PET.

٣. تُدمج الصور مع التصوير المقطعي (CT) لتحديد المواقع المصابة بدقة.

الاستخدامات:

- **تحديد مراحل سرطان البروستاتا: للكشف عن انتشار الورم.**
- **توجيه العلاج: تحديد المواقع المستهدفة للجراحة أو العلاج الإشعاعي.**
- **متابعة المريض: لمراقبة فعالية العلاج واكتشاف الانتكاسات.**

تحضيرات المريض:

- **شرب كميات كافية من الماء.**
- **الصيام غير مطلوب عادة، إلا إذا أوصى الطبيب بذلك.**
- **إبلاغ الطبيب بأية أدوية أو حالات صحية مزمنة.**

النتائج المتوقعة:

- **الخلايا السرطانية ذات النشاط المرتفع تظهر بوضوح على الصور.**
- **يساعد الفحص في الكشف عن الأورام الصغيرة التي لا يمكن اكتشافها بالفحوصات التقليدية.**

٣. فحص DOTA (DOTA Scan)

فحص يُستخدم لتشخيص أورام الغدد الصم العصبية (Neuroendocrine Tumors) باستخدام مواد مشعة تتصل بمستقبلات السوماتوستاتين الموجودة في الأورام.

آلية العمل:

١. يتم حقن مادة مشعة (مثل DOTA-TATE) ترتبط بمستقبلات السوماتوستاتين في الأورام.

٢. يتم تصوير التفاعل بين المادة والمستقبلات باستخدام جهاز PET.

٣. تُدمج الصور مع التصوير المقطعي (CT) لتحديد موقع الورم.

الاستخدامات:

- **تشخيص أورام الغدد الصم العصبية وتحديد مدى انتشارها.**
- **متابعة فعالية العلاج الكيميائي أو الإشعاعي.**
- **توجيه العلاج الإشعاعي للأماكن المصابة.**

تحضيرات المريض:

- **التوقف عن الأدوية التي تؤثر على مستقبلات السوماتوستاتين قبل الفحص.**
- **شرب الماء بكميات كافية قبل الفحص.**

النتائج المتوقعة:

- **تظهر الأورام النشطة على شكل مناطق مضيئة في الصور.**
- **يُحدد الفحص مدى انتشار الورم في الجسم.**

٤. (فحص PET/CT للعظام) PET/CT Bone Scan

فحص يُستخدم للكشف عن أمراض العظام باستخدام مادة مشعة تتركز في المناطق ذات النشاط المرتفع، مثل الأورام أو الكسور.

آلية العمل:

١. يتم حقن مادة مشعة مثل NAF في الوريد.

٢. المادة تتجمع في مناطق النمو أو النشاط غير الطبيعي في العظام.

٣. تُدمج صور PET مع صور CT لتوفير رؤية شاملة.

الاستخدامات:

- **الكشف عن أورام العظام أو انتقال السرطان إليها.**
- **تقييم الكسور الدقيقة أو المزمنة.**
- **تشخيص التهابات العظام أو أمراضها مثل هشاشة العظام.**

تحضيرات المريض:

- **لا يحتاج الى الصيام.**
- **شرب كميات كافية من الماء.**

النتائج المتوقعة:

- **تظهر المناطق ذات النشاط المرتفع في الصور بوضوح، مما يُشير إلى إصابات أو أورام.**

٥. (فحص العظام) SPECT/CT

فحص بسيط يُستخدم لتقييم صحة العظام وتشخيص مشاكلها باستخدام مادة مشعة.

آلية العمل:

١. يتم حقن مادة مشعة (مثل Technetium-99m) في الوريد.

٢. المادة تتراكم في مناطق النشاط غير الطبيعي في العظام.

٣. تُلتقط الصور باستخدام كاميرا غاما لتحديد المشاكل.

الاستخدامات:

- **تشخيص الكسور الدقيقة أو الكسور الناتجة عن هشاشة العظام.**
- **الكشف عن انتشار السرطان إلى العظام.**
- **تقييم التهابات العظام.**

تحضيرات المريض:

- **لا حاجة للصيام.**
- **شرب الماء قبل وبعد الفحص يساعد في التخلص من المادة المشعة.**

النتائج المتوقعة:

- **النشاط غير الطبيعي يظهر كمناطق مضيئة على الصور.**

٦. (فحص الغدة الدرقية) Thyroid Scan

الوصـف العام: فحص لتقييم وظيفة الغدة الدرقية واكتشـاف أي شـذوذ فيها باستخدام مادة مشعة.

آلية العمل:

١- يتم حقن أو تناول مادة مشعة (مثل اليود-١٢٣).

٢- الغدة الدرقية تمتص المادة، مما يسـمح بتصـوير نشـاطها باسـتخدام كاميرا غاما.

الاستخدامات:

- **تشخيص فرط نشاط الغدة الدرقية أو قصورها.**
- **تقييم العقيدات الدرقية لتحديد طبيعتها.**
- **مراقبة وظيفة الغدة بعد العلاج.**

تحضيرات المريض:

- **التوقف عن تناول الأطعمة الغنية باليود قبل الفحص.**
- **التوقف عن أدوية الغدة الدرقية حسب تعليمات الطبيب.**

النتائج المتوقعة:

- **النشـاط المرتفع يشـير إلى فرط النشـاط، بينما النشـاط المنخفض قد يُشـير إلى قصور أو تلف الغدة.**

٧ .فحص الغدد جارات الدرقية Parathyroid Scan

يُستخدم هذا الفحص لتحديد الغدد جارات الدرقية التي تعمل بشكل مفرط، مما يساعد في تشخيص اضطراباتها.

آلية العمل:

١- يتم حقن مادة مشعة (Technetium-99m sestamibi) في الوريد.

٢- المادة تتجمع في الغدد جارات الدرقية النشطة بشكل مفرط.

٣- تُلتقط الصور باستخدام كاميرا غاما لتحديد الغدد غير الطبيعية.

الاستخدامات:

- **تشخيص فرط نشاط الغدد جارات الدرقية.**
- **تحديد موقع الأورام أو التكيسات.**
- **تقييم الحالات المرتبطة بزيادة الكالسيوم في الدم.**

تحضيرات المريض:

- **لا حاجة للصيام.**
- **قد يُطلب من المريض التوقف عن تناول المكملات الغذائية المحتوية على الكالسيوم أو فيتامين د قبل الفحص.**

النتائج المتوقعة:

- **الغدد النشطة بشكل مفرط تظهر كنقاط مضيئة، مما يُشير إلى اضطراب وظيفتها.**

٨ .فحص الكلى (DMSA Renal Scan)

الوصف العام:

فحص يُستخدم لتقييم شكل الكلى، تركيبتها، واكتشاف أي ندوب أو مشاكل في أنسجتها.

آلية العمل:

١- يتم حقن مادة مشعة (Technetium-99m DMSA) في الوريد.

٢- المادة تتجمع في أنسجة الكلى السليمة، وتُظهر تفاصيل دقيقة.

٣- تُلتقط الصور باستخدام كاميرا غاما لتقييم شكل الكلى.

الاستخدامات:

- **تقييم الندوب الناتجة عن الالتهابات الكلوية.**
- **الكشف عن التشوهات الخلقية في الكلى.**
- **تشخيص الالتهابات المزمنة.**

تحضيرات المريض:

- **لا حاجة للصيام.**
- **شرب الماء يُساعد في تسريع التخلص من المادة المشعة بعد الفحص.**

النتائج المتوقعة:

- **المناطق غير الطبيعية في الكلى تظهر كبقع باهتة على الصور، مما يُشير إلى ضرر أو خلل.**

٩ .فحص الكلى DTPA Renal Scan

الوصف العام:

يُســتخدم لتقييم تدفق الدم إلى الكلى ووظائفها الديناميكية، بما في ذلك قياس معدل الترشيح الكبيبي.(GFR)

آلية العمل

١- يتم حقن مادة مشعة (Technetium-99m DTPA) في الوريد.

٢- المادة تنتقل عبر الكلى ويتم تصوير حركتها باستخدام كاميرا غاما.

٣- يُقاس معدل تدفق الدم ووظيفة الترشيح في الكلى.

الاستخدامات:

- **قياس كفاءة الكلى.**
- **الكشف عن انسداد المسالك البولية.**
- **تقييم وظيفة الكلى الديناميكية قبل وبعد العمليات الجراحية.**

تحضيرات المريض:

- **شرب الماء لتحفيز تدفق البول.**
- **لا حاجة للصيام.**

النتائج المتوقعة:

- **التدفق الطبيعي يشير إلى كلى سليمة، بينما التدفق البطيء يُشير إلى انسداد أو ضعف وظيفي.**

١٠ .فحص الكلى MAG3 Renal Scan (MAG3)

الوصف العام:

فحص ديناميكي يُستخدم لدراسة تدفق البول من الكلى عبر الحالبين وصولًا إلى المثانة.

آلية العمل:

1. يتم حقن مادة مشعة (Technetium-99m MAG3) في الوريد.

2. المادة تتبع مسار البول ويتم تصويرها باستخدام كاميرا غاما.

3. يتم تحليل تدفق البول لتحديد العوائق.

الاستخدامات:

- **تشخيص انسداد المسالك البولية.**
- **تقييم وظائف الكلى الديناميكية.**
- **متابعة المرضى بعد عمليات إصلاح انسداد الكلى.**

تحضيرات المريض:

- **شرب كميات كبيرة من الماء قبل الفحص.**
- **قد يُطلب من المريض تناول دواء مدر للبول أثناء الفحص لتحفيز تدفق البول.**

النتائج المتوقعة:

- **التدفق السلس يدل على كلى سليمة، بينما يشير التوقف أو التدفق البطيء إلى وجود انسداد.**

١١- فحص الجهاز اللمفاوي (Lymphoscintigraphy)

الوصف العام:

فحص يُستخدم لتقييم الجهاز اللمفاوي، بما في ذلك الكشف عن انسدادات الأوعية اللمفاوية أو العقد المصابة.

آلية العمل:

١- يتم حقن مادة مشعة تحت الجلد أو في العقد اللمفاوية القريبة.

٢- تُتابع حركة المادة المشعة عبر الجهاز اللمفاوي باستخدام كاميرا غاما.

الاستخدامات:

- **تشخيص انسداد الجهاز اللمفاوي.**
- **تحديد العقد اللمفاوية الحارسة في حالات السرطان (مثل سرطان الثدي).**
- **تقييم أمراض الجهاز اللمفاوي مثل الوذمة اللمفاوية.**

تحضيرات المريض:

- **لا حاجة لتحضيرات خاصة.**
- **يُنصح بإبلاغ الطبيب عن أي جراحات سابقة قد تؤثر على الجهاز اللمفاوي.**

النتائج المتوقعة:

- **الحركة السلسة للمادة تشير إلى نظام لمفاوي طبيعي، بينما يشير التوقف أو الانتفاخ إلى انسداد.**

١٢. فحص للكبد والمرارة HIDA Scan

الوصف العام:

فحص يُســـتخدم لتقييم وظيفة الكبد والمرارة وتشـــخيص انســـداد القنوات الصفراوية أو التهابات المرارة.

آلية العمل:

١- يتم حقن مادة مشعة مثل (Technetium-99m HIDA) في الوريد.

٢- تنتقل المادة عبر الكبد إلى القنوات الصفراوية والمرارة.

٣- تُلتقط الصور باستخدام كاميرا غاما لتقييم تدفق الصفراء.

الاستخدامات:

- **تشخيص انسداد القنوات الصفراوية.**
- **الكشف عن التهاب المرارة.**
- **تقييم تسرب الصفراء بعد الجراحة.**

تحضيرات المريض:

- **الصيام لمدة ٤-٦ ساعات قبل الفحص لضمان امتلاء المرارة.**
- **قد يُطلب من المريض تناول مادة تُحفز إفراز الصفراء أثناء الفحص.**

النتائج المتوقعة:

- **تدفق الصفراء بشكل طبيعي يدل على مرارة سليمة، بينما يشير الانسداد إلى وجود مشكلة.**

١٣. فحص الكبد والطحال Liver-Spleen Scan

الوصف العام:

فحص يُستخدم لتقييم صحة الكبد والطحال وتشخيص الأمراض المرتبطة بهما مثل تضخم الطحال أو تشمع الكبد.

آلية العمل:

١- يتم حقن مادة مشعة (Technetium-99m sulfur colloid) في الوريد.

٢- المادة تتوزع في الكبد والطحال والخلايا البلعمية.

٣- يُلتقط الصور باستخدام كاميرا غاما لتحديد حجم ووظيفة الأعضاء.

الاستخدامات:

- **الكشف عن تضخم الطحال أو اضطراب وظيفته.**
- **تقييم حالات تشمع الكبد.**
- **تشخيص الأورام أو التشوهات في الكبد أو الطحال.**

تحضيرات المريض:

- **لا حاجة للصيام أو لتحضيرات خاصة.**

النتائج المتوقعة:

- **توزيع طبيعي للمادة المشعة يشير إلى أعضاء سليمة، بينما التوزيع غير الطبيعي يدل على مشاكل مثل أورام أو تلف الأنسجة.**

١٤. فحص نزيف الجهاز الهضمي GIT Bleeding Scan

الوصف العام:

يُســتخدم لتحديد موقع النزيف داخل الجهاز الهضــمي، خاصــةً إذا لم تُظهر الفحوصات التقليدية سبب النزيف.

آلية العمل:

١- يتم حقن خلايا دم حمراء مشبعة بمادة مشعة في الوريد.

٢- تُراقب حركة المادة المشعة داخل الأوعية الدموية بالجهاز الهضمي.

٣- تُلتقط الصور على فترات زمنية باستخدام كاميرا غاما.

الاستخدامات:

- **الكشف عن النزيف الحاد أو المزمن داخل الجهاز الهضمي.**
- **تحديد مصدر النزيف لتوجيه العلاج الجراحي أو الدوائي.**

تحضيرات المريض:

- **الصيام لمدة ٤-٦ ساعات قبل الفحص.**
- **إبلاغ الطبيب عن الأدوية المستخدمة، خاصة مضادات التخثر.**

النتائج المتوقعة:

- **ظهور المادة المشعة خارج الأوعية الدموية يُشير إلى موقع النزيف.**

١٥ .فحص إفراغ المعدة Gastric Emptying Scan

الوصف العام:

يُســـتخدم لتقييم مدى سرعة انتقال الطعام من المعدة إلى الأمعاء الدقيقة، وهو مفيد لتشخيص اضطرابات الجهاز الهضمي.

آلية العمل:

١- يتناول المريض وجبة تحتوي على مادة مشعة.

٢- يتم تصـــوير حركة المادة المشـــعة من المعدة إلى الأمعاء على فترات زمنية منتظمة.

٣- يُقاس سرعة الإفراغ لتحديد وجود تأخير أو تسارع.

الاستخدامات:

- **تشخيص تأخر إفراغ المعدة المرتبط بالسكري.**
- **تقييم اضـطرابات الجهاز الهضـمي مثل عسر الهضـم أو السرعة المفرطة في الإفراغ.**

تحضيرات المريض:

- **الصيام لمدة ٨ ساعات قبل الفحص.**
- **تجنب الأدوية التي تؤثر على حركة المعدة حسب توجيهات الطبيب.**

النتائج المتوقعة:

- **قياس نســـبة الإفراغ الطبيعي يســـاعد في تحديد ما إذا كان هناك تأخير أو اضطراب.**

١٦ .فحص حركة المريءEsophageal Motility Scan

الوصف العام:

فحص يُســتخدم لتقييم حركة المريء وقدرته على نقل الطعام والســوائل إلى المعدة بشكل طبيعي.

آلية العمل:

١- يتم إعطاء المريض مادة مشعة تُبتلع مع القليل من الماء.

٢- يُراقب حركة المادة خلال انتقالها عبر المريء باستخدام كاميرا غاما.

٣- يتم قياس سرعة وكفاءة حركة المريء.

الاستخدامات:

- **تشخيص اضطرابات البلع مثل تعذر الارتخاء المريئي أو ارتجاع المريء.**
- **الكشف عن انسداد المريء أو تشوهاته.**

تحضيرات المريض:

- **الصيام لمدة ٦-٨ ساعات قبل الفحص.**

النتائج المتوقعة:

- **انتقال المادة بشـكل سـلس يدل على وظيفة طبيعية، بينما يشـير التأخير أو التوقف إلى مشكلة في الحركة.**

١٧ .فحص تدفق الدم إلى الرئتين Lung Perfusion Scan

الوصف العام:

يُستخدم هذا الفحص لتقييم تدفق الدم إلى الرئتين وتشخيص مشاكل الدورة الدموية الرئوية مثل الانصمام الرئوي.

آلية العمل:

١- يتم حقن مادة مشعة في الوريد تنتقل مع الدم إلى الرئتين.

٢- تُلتقط الصور باستخدام كاميرا غاما لتحديد توزيع الدم داخل الرئتين.

الاستخدامات:

- **تشخيص الانسداد الرئوي (جلطات الرئة).**
- **تقييم أمراض الرئة المزمنة مثل التليف الرئوي.**

تحضيرات المريض:

- **لا حاجة لتحضيرات خاصة.**

النتائج المتوقعة:

- **تدفق طبيعي يدل على شرايين رئوية سليمة، بينما يشير التدفق غير المنتظم إلى انسداد أو مشكلة في الدورة الدموية.**

١٨. فحص ميكل Meckel's Scan

الوصف العام: يُستخدم للكشف عن رتج ميكل، وهو تشوه خلقي قد يُسبب نزيفاً في الجهاز الهضمي.

١- يتم حقن مادة مشعة (Technetium-99m) في الوريد.

٢- تتجمع المادة في الأنسجة التي تحتوي على خلايا معدية غير طبيعية.

٣- تُلتقط الصور لتحديد وجود رتج ميكل.

الاستخدامات:

- **تشخيص نزيف الجهاز الهضمي الناتج عن رتج ميكل.**

تحضيرات المريض:

- **الصيام لمدة ٤-٦ ساعات قبل الفحص.**

النتائج المتوقعة:

- **ظهور المادة المشعة في منطقة معينة يُشير إلى وجود رتج ميكل.**

١٩. فحص القنوات الدمعية Lacrimal Scan

فحص يُستخدم لتقييم انسداد القنوات الدمعية أو تشوهها.

آلية العمل:

١- يتم وضع مادة مشعة في الكيس الدمعي للعين.

٢- تُتابع حركة المادة عبر القنوات الدمعية باستخدام كاميرا غاما.

الاستخدامات:

- **تشخيص انسداد القنوات الدمعية.**
- **تقييم مشاكل تصريف الدموع.**

تحضيرات المريض:

- **لا حاجة لتحضيرات خاصة.**

النتائج المتوقعة:

- **تدفق المادة بسلاسة يدل على وظيفة طبيعية، بينما يشير التوقف أو التأخير إلى انسداد.**

٢٠ . فحص اليود فقط Iodine Scan Only

فحص يُستخدم لتقييم نشاط الغدة الدرقية باستخدام نظير اليود المشع.

١- يتم تناول أو حقن مادة مشعة (مثل اليود-١٢٣).

٢- تُمتص المادة من الغدة الدرقية، مما يسمح بتصوير نشاطها باستخدام كاميرا غاما.

الاستخدامات:

- **تشخيص فرط نشاط الغدة الدرقية.**
- **الكشف عن العقيدات الدرقية وتحديد طبيعتها.**

تحضيرات المريض:

- **التوقف عن الأدوية والأطعمة الغنية باليود قبل الفحص.**

النتائج المتوقعة:

- **امتصاص مرتفع يدل على فرط النشاط، بينما الامتصاص المنخفض يُشير إلى قصور أو تلف الغدة.**

٢١. فحص عضلة القلب MPI (Myocardial Perfusion Imaging)

فحص يُستخدم لتقييم تدفق الدم إلى عضلة القلب في حالتي الراحة والإجهاد.

١- يتم حقن مادة مشعة مثل Technetium-99mفي الوريد.

٢- يُراقب حركة الدم عبر شرايين القلب أثناء الراحة وبعد الإجهاد.

الاستخدامات:

- **تشخيص انسداد الشرايين التاجية.**
- **تقييم استجابة القلب بعد النوبات القلبية.**

تحضيرات المريض:

- **الصيام لمدة ٤-٦ ساعات.**
- **الامتناع عن الكافيين قبل الفحص.**

النتائج المتوقعة:

- **تدفق طبيعي يدل على شرايين سليمة، بينما التدفق الضعيف يُشير إلى انسداد.**

٢٢ .علاج اليود المشع.Iodine Therapy

علاج يُستخدم لتدمير خلايا الغدة الدرقية النشطة بشكل مفرط أو السرطانية باستخدام اليود المشع.

آلية العمل:

1. يتم تناول جرعة من اليود المشع.(I-131)

2. تمتص الغدة الدرقية اليود، مما يؤدي إلى تدمير الخلايا المستهدفة.

الاستخدامات:

- **علاج فرط نشاط الغدة الدرقية.**
- **القضاء على خلايا سرطان الغدة الدرقية.**

تحضيرات المريض:

- **اتباع نظام غذائي منخفض اليود قبل العلاج.**
- **التوقف عن أدوية الغدة الدرقية.**

النتائج المتوقعة:

- **تقلص حجم الغدة أو القضاء على الخلايا السرطانية.**

الفصل الرابع
الوقاية من الاشعاع

٤-١-المقدمة.

في عالمنا المعاصر، تزايد الاعتماد على الطاقة النووية لتلبية احتياجات البشرية المتزايدة من الطاقة. ورغم الفوائد الكبيرة التي تقدمها هذه الطاقة، إلا أن المخاطر الكامنة وراء استخدامها لا يمكن إغفالها. إن الإشعاع النووي، ذلك الخطر الخفي الذي لا يُرى بالعين المجردة، يحمل في طياته تهديدات جسيمة للإنسان والبيئة على حد سواء.

يهدف هذا الفصل إلى استكشاف تلك المخاطر بشكل علمي ودقيق، محاولاً تسليط الضوء على طبيعة الإشعاع النووي، وتأثيراته المحتملة على الصحة العامة والبيئة. سنناقش في هذا الفصل تأثيرات الإشعاع على المستوى البيولوجي، ومخاطر التلوث النووي، وكذلك الكوارث النووية التي هزّت العالم. كما سنتناول الإجراءات والتدابير الوقائية التي يمكن اتخاذها للحد من هذه المخاطر وتقليل تأثيراتها.

إن فهم مخاطر الإشعاع النووي ليس مجرد ضرورة علمية، بل هو مسؤولية أخلاقية تجاه الأجيال القادمة، فمعرفة المخاطر هي الخطوة الأولى نحو تجنبها، وبناء مستقبل أكثر أماناً لنا وللأرض التي نعيش عليها.

الإشعاع النووي هو نتاج للعمليات النووية التي تحدث داخل المفاعلات النووية أو خلال انفجارات الأسلحة النووية. يمكن أن تتسبب هذه الإشعاعات في أضرار جسدية ووراثية خطيرة، حيث تدخل إلى جسم الإنسان وتؤثر على الخلايا والأنسجة بشكل قد يكون قاتلاً. ومع ذلك، يظل فهم هذه المخاطر محدوداً في العديد من المجتمعات، مما يزيد من الحاجة إلى توعية شاملة حول هذا الموضوع.

سيأخذنا هذا الفصل في رحلة لفهم ماهية الإشعاع النووي، آلياته، وتأثيراته المختلفة. سنبدأ بتقديم نظرة عامة عن الإشعاع النووي من حيث طبيعته الفيزيائية وأنواعه المختلفة. بعدها، سنتناول التأثيرات الصحية التي قد تنجم عن التعرض للإشعاع النووي، مع التركيز على الدراسات التي أُجريت حول الأمراض المرتبطة به مثل السرطان والأضرار الجينية.

كما سـنعرض في فقرات لاحقة الكوارث النووية الكبرى التي شـهدها العالم من قبل، مثل كارثة تشـيرنوبيل وفوكوشـيما وهيروشـيما وناكازاكي، والتي تُعد شـواهد مؤلمة على حجم الخطر الذي يمثله الإشعاع النووي عندما يُفقد التحكم فيه.

هذه الكوارث ليسـت مجرد حوادث تاريخية، بل هي دروس قاسـية حول ضرورة التحكم الصارم في التكنولوجيا النووية.

ختاماً، سنتناول الوسائل والاحتياطات الواجب اتخاذها لحماية البشـر والبيئة من مخاطر الإشعاع النووي. سواء كان ذلك من خلال تطوير سياسات صارمة، أو تعزيز الأبحاث العلمية، أو حتى من خلال نشـر الوعي العام، فإن الحماية من الإشعاع النووي تتطلب تعاوناً جماعياً على مستوى العالم.

٤-٢- مخاطر الإشعاع وطرائق الوقاية منها.

١- الإشعاع النووي.

الإشـعاع بشـكل عام هو الطاقة التي تنتقل عبر الفضـاء في شـكل موجات كهرومغناطيسـية أو جسيمات دقيقة. اما الاشعاع النووي هو نوع من الاشعاع المؤين الذي ينبعث من قلب نوى الذرات غير المسـتقرة خلال عملية الانحلال الاشعاعي.

تبعث الذرات اشعاعا عندما تكون في حالة هيجان وعدم استقرار وهذا الهيجان ناتج من طاقة اضافية تحصل عليها الذرات من محيطها الخارجي بطرائق عديدة (سنذكرها لاحقا) فلغرض التخلص من هذه الطاقة الزائدة تبعث هذا الطاقة على اشعاع يمكن أن يكون الإشعاع مؤين أو غير مؤين. الإشعاع المؤين(المهيج)، مثل أشعة ألفا وبيتا وغاما، لديه القدرة على إزالة الإلكترونات من الذرات، مما يمكن أن يتسبب في أضرار خلوية وجينية. الإشعاع النووي يشكل تهديداً كبيراً على صحة الإنسان والبيئة بسبب قدرته العالية على اختراق الأنسجة الحية وإحداث أضرار خطيرة على المستوى الخلوي. عندما يتعرض الإنسان للإشعاع النووي، تتأين الذرات في الخلايا، مما يؤدي إلى تكوين شقوق في الحمض النووي (DNA)، الذي يعد جزيء الحياة الأساس. هذه الشقوق يمكن أن تتسبب في موت الخلية، أو

حدوث طفرات جينية قد تؤدي إلى تطور أمراض خطيرة مثل السرطان. الخطر لا يكمن فقط في التأثيرات الصحية الفورية، بل يمتد ليشمل التأثيرات طويلة الأمد التي قد تظهر بعد سنوات أو حتى عقود من التعرض للإشعاع.

الآثار الصحية تختلف حسب نوع الإشعاع ومستوى التعرض. على سبيل المثال، الجرعات العالية من الإشعاع يمكن أن تسبب أمراض الإشعاع الحادة، وهي حالة تؤدي إلى تدمير الجهاز المناعي والجهاز الهضمي، وقد تكون مميتة في بعض الحالات. أما التعرض المزمن لجرعات منخفضة من الإشعاع، فيزيد من خطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية، والسرطان، وأمراض أخرى قد لا تكون واضحة في البداية.

الإشعاع النووي لا يؤثر فقط على من تعرضوا له مباشرة، بل يمتد تأثيره إلى الأجيال القادمة. الطفرات الجينية الناتجة عن الإشعاع يمكن أن تنتقل إلى الأبناء، مما يزيد من احتمال ولادة أطفال يعانون من تشوهات خلقية أو أمراض وراثية خطيرة. هذه المخاطر الوراثية تبرز أهمية التعامل بحذر مع الإشعاع النووي وتجنب التعرض غير الضروري له.

علاوة على ذلك، يسبب الإشعاع النووي تلوثاً بيئياً شديد الخطورة. المواد المشعة التي تنتشر في البيئة يمكن أن تلوث الماء، والتربة، والهواء، وتبقى في الطبيعة لمئات أو حتى آلاف السنين. هذه المواد المشعة تدخل السلسلة الغذائية، مما يؤدي إلى تراكمها في الكائنات الحية، وتعرضها لخطر الإصابة بالأمراض الناجمة عن الإشعاع. هذه التأثيرات البيئية تجعل من الإشعاع النووي تهديداً مستمراً يتطلب إدارة صارمة وتدابير وقائية فعالة.

في ظل هذه المخاطر كلها، يصبح من الضروري تعزيز الوعي بأهمية اتخاذ التدابير الوقائية، مثل توفير المعدات اللازمة للحماية من الإشعاع في المنشآت النووية، والتأكد من اتباع بروتوكولات السلامة، وتحسين الاستجابة للكوارث النووية لضمان حماية الإنسان والبيئة من آثار الإشعاع النووي.

٤-٣- الإشعاع ومخاطره

الإشـــعاع النووي يُســـتخدم في كل من المفاعلات النووية والمراكز الطبية النووية، لكن هناك فروقاً جوهرية في كيفية إنتاجه، واســـتخدامه، ومســـتوى التعرض له، والأغراض التي يخدمها، يمكن ادراج بعض الفروقات بما يلي:

١-المصدر والاستخدام.

المفاعلات النووية، يتم إنتاج الإشـــعاع النووي من خلال عملية الانشـــطار النووي، حيث يتم تقســـيم نوى الـذرات الثقيلـة مثـل اليورانيوم أو البلوتونيوم لإنتاج كميات هائلة من الطاقة، هذه الطاقة تُســتخدم أســاســاً لتوليد الكهرباء في محطات الطاقة النووية. الإشـــعاع في هـذه الحـالـة ينتج عن النواتج الثانوية للانشـــطار النووي، التي تشـــمل جســـيمات ألفا وبيتا، وأشـــعة غاما. المفاعلات النووية تولد كميات كبيرة من الإشعاع الذي يتطلب إجراءات أمان مشددة للتحكم به وتجنب تسربه إلى البيئة.

في المراكز الطبية، يُستخدم الإشعاع النووي لأغراض تشخيصية وعلاجية لذا تكون شـــدته أقل بكثير من تلك التي في المفاعلات النووية. هنا، يتم اســـتخدام كميات صـــغيرة من المواد المشـــعة (النظائر المشـــعة) لأغراض مثل التصـــوير الإشعاعي (مثل التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني) أو العلاج الإشعاعي لعلاج السرطان. هذه المواد المشعة تصدر إشعاعات (عادةً أشعة غاما أو بيتا) بجرعات يمكن التحكم فيها بدقة لعلاج الأورام أو لتشـــخيص حالات مرضـــية معينة دون إلحاق ضرر كبير بالخلايا السليمة.

٢- مستوى الإشعاع والتحكم.

المفاعلات النووية الإشـــعاع في المفاعلات النووية يكون بكميات كبيرة ومركزة للغاية، مما يســـتدعي اســـتخدام تدابير أمان مكثفة مثل حاويات محكمة، أنظمة تبريد، وطبقات متعددة من الحواجز للحد من تســـرب الإشعاع. أي فشل في هذه الأنظمة قد يؤدي إلى حوادث نووية كبيرة تؤدي إلى تســـــــرب كميات هائلة من الإشعاع إلى البيئة، كما حدث في تشيرنوبل وفوكوشيما.

بينما في المراكز الطبية النووية تكون الجرعات المستخدمة في الطب النووي منخفضة نسبياً ومخصصة للأفراد. هناك أنظمة صارمة للتأكد من أن الإشعاع يُوجه بدقة إلى المناطق المستهدفة في الجسم، مع تقليل التعرض للإشعاع في الأنسجة السليمة. حتى عند استخدام الإشعاع لعلاج السرطان، يتم تقسيم الجرعة الكلية إلى جلسات متعددة لتقليل الآثار الجانبية.

٣-الأغراض والنتائج.

في المفاعلات النووية الهدف يكون الأساس هو إنتاج الطاقة بكفاءة عالية، والاستخدامات الأخرى للإشعاع في المفاعلات تشمل إنتاج نظائر مشعة للاستخدامات الطبية والصناعية. المخاطر المرتبطة بها تتعلق بالتسرب الإشعاعي والكوارث البيئية.

بينما المراكز الطبية النووية يكون الهدف الرئيس فيها هو تحسين الصحة من خلال تشخيص الأمراض وعلاجها. المخاطر تكون محدودة إلى حد كبير وتُدار بعناية لضمان عدم تعرض المرضى والعاملين لمستويات ضارة من الإشعاع.

٤-المخاطر البيئية.

في المفاعلات النووية إذا لم يتم التعامل مع النفايات النووية بشكل صحيح أو إذا حدثت حوادث، يمكن أن تؤدي إلى تلوث واسع النطاق للمناطق المحيطة، مما يجعلها غير صالحة للسكن لسنوات طويلة.

بينما المراكز الطبية النووية فأن النفايات المشعة الناتجة عن الطب النووي تكون بكميات صغيرة ويتم التعامل معها وفقاً لإجراءات صارمة للتخلص منها بأمان والمخاطر البيئية تكون محدودة جداً ومسيطر عليها بشكل جيد.

باختصار، بينما يُستخدم الإشعاع النووي في كل من المفاعلات النووية والمراكز الطبية النووية، فإن الطريقة التي يُنتج بها، والغرض من استخدامه، ومستوى التحكم والمخاطر المرتبطة به تختلف بشكل كبير بين الاثنين.

٤-٤- أنواع الأشعة.

الأشـــعة النووية هي نوع من الإشـــعاع الذي ينبعث من تفاعلات نووية داخل الذرات، هذه الأشـــعة تحمل طاقة هائلة وتعد من بين أقوى أنواع الإشـــعاع التي يمكن أن تؤثر على المادة بشـــكل عميق. تتنوع الأشـــعة النووية في خصـــائصـــها وطرائق تفاعلها مع المواد الحية وغير الحية، وهو ما يجعلها مفيدة في بعض التطبيقات مثل الطب والصناعة، لكنها في الوقت نفسه تشكل خطراً كبيراً إذا لم يتم التعامل معها بحذر.

تتكون الأشعة النووية بشكل أساس من ثلاثة أنواع رئيسة: أشعة ألفا، وأشعة بيتا، وأشـــعة غاما. كل نوع من هذه الأشـــعة يمتلك خصـــائص فريدة تجعل استخداماته وتأثيراته مختلفة.

أولا: أشعة ألفا(α) .

تتكون من نوى الهيليوم (بروتونان ونيوترونان $_2H^4$) وتكون ذات شـــحنة موجبة ومدى تأثيرها بســـيط جدا ولا يســـبب أية آثار جانبية لأن قدرتها على الاختراق ضـــعيفة، حيث يمكن إيقافها بورقة أو الجلد ولكنها تصـــبح خطيرة عند استنشاقها أو ابتلاعها، حيث يمكن أن تسبب أضرارًا شديدة داخل الجسم.

ثانيا: أشعة بيتا(β) .

تتكون من إلكترونات أو بوزيترونات ولها شحنة معينة، وتمتلك قدرة اختراق أعلى من أشعة ألفا، ويمكن إيقافها بمواد مثل الألومنيوم بأسماك بسيطة. يمكن أن تسبب أضرارًا في الجلد والعينين، وتكون خطيرة إذا تم استنشاقها أو ابتلاعها.

ثالثا: أشعة غاما(γ) .

هي أشعة كهرومغناطيســـية ذات طاقة عالية، بدون كتلة أو شحنة، تمتلك قدرة اختراق عالية جداً ويمكن أن تخترق المواد الصـــلبة، يمكن أن تســـبب أضراراً عميقة للأنســـجة والأعضـــاء الداخلية. أشـــعة غاما (γ) تُبعث عندما تنخفض نواة ذرية غير مســـتقرة إلى حالة طاقة أقل بعد عملية تحلل نووي. يمكن أن تكون هذه العملية مرتبطة بأنواع مختلفة من الانحلال النووي. وتحدث في الحالات التالية:

أولا: عندما يحدث تحلل ألفا أو بيتا، تظل النواة الناتجة عادةً في حالة طاقة عالية (حالة متحمسة)، للعودة إلى حالة طاقة مستقرة، تطلق النواة طاقة زائدة على شكل أشعة غاما، كما هو الحال في تحلل اليود-١٣١، بعد إصدار جسيم بيتا، يظل النواة في حالة مثارة وتبعث أشعة غاما لتحرير الطاقة الزائدة.

ثانيا: بعد التفاعلات النووية.

الانفجارات النووية والتفاعلات في المفاعلات، يمكن أن تطلق النوى المتشكلة بعد تفاعلات نووية (مثل الانفجارات النووية) أشعة غاما كجزء من عملياتها لتفريغ الطاقة الزائدة.

ثالثا: خلال عمليات الانحلال الاشعاعي الطبيعي.

بعض النظائر الطبيعية التي تتحلل ببطيء (مثل اليورانيوم-٢٣٨) تصدر أشعة غاما بشكل منتظم كجزء من سلسلة التحلل الإشعاعي.

من خصائص أشعة غاما انها تمتلك طاقة عالية جداً، مما يمنحها قدرة اختراق كبيرة. يمكن أن تخترق معظم المواد وتحتاج إلى دروع سميكة مثل الرصاص أو الخرسانة لتقليل تأثيرها. وهي لا تمتلك شحنة أو كتلة على عكس جسيمات ألفا وبيتا، مما يجعلها أكثر قدرة على الانتشار عبر المواد.

أشعة غاما هي جزء من طبيعة عمليات التحلل النووي والأنشطة الإشعاعية الطبيعية والاصطناعية، وتستخدم بشكل واسع في المجالات الطبية والصناعية لتشخيص وعلاج الأمراض، ولأغراض البحث.

رابعا: النيوترونات.

هي جسيمات نووية عديمة الشحنة تمتلك قدرة اختراق كبيرة ويمكن أن تخترق معظم المواد بسهولة من مخاطرها أنها يمكن أن تؤدي إلى أضرار خلوية ونوعيات مختلفة من الإشعاع داخل الجسم.

٤-٦-التأثيرات البيولوجية للإشعاع

إن معظم الضـــــرر الذي تسـببه الاشـعاعات يأتي من تأثيرها البيولوجي على الكائنات الحية والمنظومات العضوية، وهناك طريقتان تؤثر بهما الاشعاعات على الكائنات الحية:

الطريقة الأولى: هي ما يعرف بالتأثير المباشر حيث تقوم الاشـــعاعات بتأيين جزء من الذرات الداخلة في تركيب أنســـجة الجســـم نتيجة قيام هذه الذرات بامتصاص الطاقة من الاشعاعات.

لتوضـيح ذلك يمكن ان نورد المثال الاتي ، ان امتصـاص جرعة مقدارها ٤٠٠ راد ،يعني ان كل واحد غرام من النســـيج ســـوف يحصـــل على كمية من الطاقة مقـدارهـا $2.5*10^{16}$ الكترون فولـت، وحيـث انـه يلزم حوالي ٣٤ الكترون فولـت لتوليد زوج ايوني واحد في النسيج نجد ان عدد الايونات المتولدة نتيجة امتصاص الجرعة الســابقة هي $7.65*10^{15}$ ذرة في كل غرام قد تأثرت مباشرة نتيجة تعرض الجسم لهذه الجرعة القاتلة ،لكننا اذا قسمنا هذا العدد على عدد الذرات في الغرام الواحد من النسيج نجد ان نسبة واحد فقط من كل عشـــرة ملايين ذرة قد تأثرت بالإشـعاع وهو عدد قد يبدو قليلا جدا لأول وهلة الا ان عملية تأين الذرات سـوف تؤدي الى تحلل الجزيئات التي تدخل هذه الذرات ضـمن تركيبها وهذا سـيكون له اضرار كبيرة على مســـتوى الخلية الواحدة والكائن الحي بأكمله. إن أهم الأضرار المباشرة للإشـــعاعات هي الطفرات الوراثية وكذلك موت الخلايا، فمثلا ان جرعة اشـعاعية مقدارها ٤٠٠ راد تمثل الجرعة الاشـعاعية المميتة لنصـف المتعرضـين لها من البشـــــــر خلال ثلاثين يوما ويرمز لها بالرمز LD50/30، وهي تعد جرعة اشـــعاعية كبيرة على الجســـم على الرغم من تأثيرها المباشر كما لاحظنا محدود جدا.

الطريقة الثانية: التي تؤثر بها الاشـــعاعات على الكائنات الحية هي الطريقة غير المباشرة. في هذه الطريقة لا ينتقل اثر الاشـــعاعات الى الخلايا مباشرة وإنما تقوم الاشـــعاعات بإنتاج عدد كبير من الجذور الحرة Free radicals ضـــمن ســـوائل الجســـم خاصـــة الماء، تقوم هذه الجذور الحرة بدورها بتكوين مركبات كيمياوية

سـامة. بهذه الطريقة يصـبح تأثير الاشـعاعات أكثر حدة فمثلا تحتاج سـبورات البكتريا لحوالي ٥٠٠٠٠٠ راد حتى يموت 90% من خلاياها في حين السـبورات نفسها لحوالي ١٠٠٠٠٠ راد لأحداث التأثير نفسه عندما تكون في الماء ويعود ذلك الى ان الاشـعاع يقوم بتكوين جذور حرة في الماء، حيث تتحد هذه الجذور الحرة مع بعضـها لتكوين مركب بيروكسـيد الهيدروجين المؤكسـد والذي يسـاعد على الحاق المزيد من الضرر بالخلايا والجزيئات الأخرى المهمة في الجسم.

ان التعرض الزائد للإشـعاع يمكن أن يؤثر على أعضـاء الجسـم جميعها ولكن بسـبب اختلاف اعضـاء الجسـم في حسـاسـيتها للإشـعاع فان الاعراض الرضـية تعتمد على مقدار الجرعة ويمكن تصنيف الآثار الحادة الى اربعة اثار هي:

١-الآثار التي تظهر على الدم.

٢-الآثار التي تظهر على الجهاز المعوي.

٣-الآثار التي تظهر على الجهاز العصبي المركزي.

٤-الآثار التي تظهر على الجلد.

يضـاف الى ذلك مجموعة من الاعراض العامة التي ترافق الحالات السـابقة جميعها مثل الدوار والاعياء وارتفاع درجة الحرارة والقيئ.

التأثيرات الحادة: تشـمل الحروق الإشـعاعية، فقدان الشـعر، والغثيان، والعقم، وحتى الموت في حالات التعرض الشـديد، اما التأثيرات المزمنة فتتضـمن زيادة مخاطر الإصابة بالسرطان، الطفرات الجينية، وأمراض الإشعاع.

التأثيرات البيولوجية للإشـعاع تعتمد على عدة عوامل مثل نوع الإشـعاع، الجرعة المسـتلمة، مدة التعرض، ونوع الأنسـجة أو الخلايا المتعرضـة. يمكن تقسيم هذه التأثيرات إلى:

أولا: التأثيرات الحادة.

التأثيرات الحادة تحدث عند التعرض لجرعات عالية من الإشعاع خلال فترة قصيرة، تشمل هذه التأثيرات:

١- متلازمة الإشعاع الحادة.

تحدث عندما يتعرض الجسم لجرعة عالية من الإشعاع (عادةً ما تكون أعلى من ١ جراي) خلال فترة زمنية قصيرة. يمكن أن تؤدي إلى أعراض حادة تشمل الغثيان، التقيؤ، الإسهال، ونقص في عدد خلايا الدم البيضاء، مما يزيد من خطر العدوى. في حالات الجرعات العالية جدًا، قد تؤدي إلى تلف شديد في الأعضاء الحيوية مثل القلب والأمعاء.

٢-تلف الأنسجة:

يمكن للإشعاع أن يسبب تلفًا مباشرًا في الأنسجة والخلايا، خاصة في الأنسجة التي تتجدد بسرعة مثل الجلد وبطانة الأمعاء. هذا قد يؤدي إلى حروق إشعاعية، تساقط الشعر، وقرحة في الأمعاء.

٣-التأثيرات التراكمية.

التعرض المستمر لجرعات صغيرة من الإشعاع على مدى فترة طويلة يمكن أن يؤدي إلى تأثيرات تراكمية تشمل:

١-السرطان: يُعد السرطان من أخطر التأثيرات التراكمية للإشعاع. الإشعاع يمكن أن يسبب طفرات في الحمض النووي (DNA)، مما يزيد من خطر تطور الأورام السرطانية. سرطان الغدة الدرقية، اللوكيميا، وسرطان الرئة هي أمثلة على السرطانات المرتبطة بالتعرض للإشعاع.

٢-التغيرات الوراثية: الإشعاع يمكن أن يسبب طفرات في الخلايا الجنسية، مما قد يؤدي إلى تشوهات وراثية في الأجيال القادمة.

٣-تلف الأعضاء: التعرض المستمر للإشعاع يمكن أن يؤدي إلى تلف في الأعضاء مع مرور الوقت، مثل تليف الأنسجة، وفشل الأعضاء، وتدهور وظائف الجهاز المناعي.

٤-٧- العوامل المؤثرة في التأثيرات البيولوجية

١- نوع الإشعاع: لكل نوع (ألفا، بيتا، وجاما) تأثيرات مختلفة على الخلايا.

٢-الجرعة المستلمة: كلما زادت الجرعة، زادت شدة التأثيرات.

٣- مدة التعرض: التعرض القصير لجرعة عالية قد يكون أكثر ضررًا من التعرض الطويل لجرعات صغيرة.

٤-نوع الأنسجة: الأنسجة التي تتجدد بسرعة، مثل الجلد والدم، تكون أكثر عرضة لتأثيرات الإشعاع.

فهم التأثيرات البيولوجية للإشعاع مهم لتقدير المخاطر المرتبطة بالتعرض للإشعاع، سواء كان في الطب أو في حالات التعرض البيئي أو المهني.

٤-٨-طرائق الوقاية من الإشعاع.

١-الابتعاد والمحافظة على مسافة يقلل من الجرعة الإشعاعية.

٢-تقليل الوقت الذي يقضيه الشخص بالقرب من مصدر الإشعاع.

٣-الحماية باستخدام مواد واقية مثل الرصاص أو الخرسانة او ملابس واقية.

٤-الأجهزة الشخصية: استخدام أجهزة قياس الإشعاع لقياس مستويات الإشعاع ومراقبة التعرض.

٤-٩-التدابير التنظيمية.

١-التدريب: توفير تدريب شامل للعاملين في بيئات تعرض للإشعاع.

٢-مراقبة مستويات الإشعاع في الأماكن التي تحتوي على مصادر إشعاع.

٣-التقارير: الإبلاغ عن أي حالات تعرض غير طبيعي للإشعاع.

٤-١٠- إجراءات الطوارئ

١-الإخلاء: وضع خطط لإخلاء سريع في حالة الحوادث الإشعاعية.

٢-الإجراءات الطبية: تقديم العلاجات المناسبة للحالات الطارئة، مثل الأدوية المضادة للإشعاع.

٣-اجراء الفحوصات الطبية الدورية للعاملين في مجال الاشعاع للتأكد من سلامتكم وتثبيت الحالات المشتبه بها ومتابعتها.

٤-١١- الخلاصة

تتطلب إدارة مخاطر الإشعاع مزيجاً من التقنيات الوقائية والتدابير التنظيمية والتدريب. الفهم العميق لأنواع الإشعاع وتأثيراتها البيولوجية يمكن أن يساعد في تطوير استراتيجيات فعالة للوقاية والحماية، مما يساهم في سلامة الأفراد والمجتمعات.

٤-١٢- حوادث حقيقية لكوارث اشعاعية.

فيما بعض الأمثلة الحقيقية على حوادث إشعاعية بارزة تسببت بكوارث بشرية مرعبة ادت الى دمار شامل في كثير من جوانب الحياة، وهي توضح المخاطر والتحديات المتعلقة بالتعرض للإشعاع وكيف انها من الصعوبة بمكان السيطرة عليها ولربما تؤدي الى انهيار الحياة في الكرة الارضية.

١- حادثة تشيرنوبيل ١٩٨٦م.

في ٢٦ أبريل ١٩٨٦م، وقع انفجار في مفاعل نووي رقم ٤ في محطة تشيرنوبيل للطاقة النووية في أوكرانيا (في ذلك الوقت جزء من الاتحاد السوفيتي)، أدى الانفجار إلى إطلاق كميات كبيرة من الإشعاع النووي عالي الطاقة في الجو، مما تسبب بانتشار الاشعاع من اوكرانيا الى أوربا حتى اعتقدت الحكومة الامريكية آنذاك بانها توجد ضربة نووية موجه من الاتحاد السوفيتي الى أوربا.

تسببت الحادثة في وفاة أكثر من ٣٠ شخصًا مباشرة بسبب الانفجار والإشعاع. كما تعرضت مناطق واسعة في أوروبا الشرقية للإشعاع، مما أدى إلى إصابة العديد بأمراض إشعاعية وسرطانات. تم إخلاء مناطق واسعة، ولا يزال تأثير الحادث ملحوظًا حتى اليوم.

٢-حادثة فوكوشيما ٢٠١١م.

في ١١ مارس ٢٠١١م، ضرب زلزال قوي وتسونامي محطة فوكوشيما للطاقة النووية في اليابان. أدى ذلك إلى تعطل نظام التبريد في ثلاث مفاعلات، مما تسبب في انصهار جزئي للمفاعلات وإطلاق إشعاع. تلوثت البيئة بالإشعاع، وتم إجلاء أكثر من ١٠٠،٠٠٠ شخص من المناطق المحيطة. تسببت الحادثة في تسرب كميات كبيرة من المياه الملوثة بالإشعاع إلى المحيط.

٣-حادثة هيروشيما وناغازاكي ١٩٤٥م.

في ٦ و٩ أغسطس ١٩٤٥، أسقطت الولايات المتحدة قنبلتين ذريتين على مدينتي هيروشـــيما وناغازاكي في اليابان خلال نهاية الحرب العالمية الثانية. كانت القنابل تحتوي على مواد مشعة وأنتجت إشعاعات مؤينة.

تسببت القنابل في وفاة أكثر من ٢٠٠،٠٠٠ شخص بين قتلى وجرحى، وأثرت الإشعاعات على الحياة الصحية للناجين، مما تسبب في زيادة حالات الســـرطان وأمراض الإشعاع.

٤- حادثة كيسنجر في الأرجنتين ١٩٨٣م.

في عام م١٩٨٣، تعرضت مدينة كيسنجر في الأرجنتين لتســـرب إشعاعي من جهاز إشعاعي طبي كان يحتوي على كميات كبيرة من الكوبالت-٦٠ المشع. تسببت الحادثة في إصـابة عدة أشـخاص بالإشـعاع وأدى إلى وفاة عدد منهم. تم اكتشـاف الحادث بعد فترة من حدوثه، مما أدى إلى جهود ضـــخمة لإزالة التلوث والبحث عن ضحايا.

٥- حادثة إنديانا بويز١٩٦٥م.

في سـبتمبر ١٩٦٥م، تسرـبت كمية كبيرة من الإشـعاع من جهاز تشـعيع في مستشفى في إنديانا بويز، الولايات المتحدة. أصيب أربعة موظفين بالإشعاع، مما أدى إلى وفاة اثنين منهم، وتعرض الآخرون لأضرار صحية دائمة .

هذه الحوادث تبرز أهمية إدارة المخاطر والإجراءات الوقائية في التعامل مع الإشـــعاع، وكذلك الحاجة إلى اســـتجابة سريعة وفعالة لتقليل الأضرار وحماية الصحة العامة.

٤-١٣- وحدات قياس الجرع الاشعاعية.

الجرعة القصوى المسموح بها للإشعاع تختلف بناءً على معايير وتوجيهات منظمات دولية مثل اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP)، وهيئة تنظيم النووية في الولايات المتحدةNRC) ، ومنظمة الصحة العالمية (WHO) هذه الجرعات تعتمد على الغرض من التعرض، سواء كان في حالات العمل المهني أو التعرض الطبي أو التعرض العرضي.

١-الجرعات المهنية:

للعاملين في مجالات تتطلب التعرض للإشعاع، مثل العاملين في المجالات النووية أو الطبية، تحدد الجرعات المسموح بها عادة على النحو التالي:

أولا: ٥٠ ملي سيفرت(mSv)في السنة هو الحد الأقصى المسموح به للعاملين في مجال الإشعاع.

ثانيا: 20 - ملي سيفرت (mSv) في السنة كمعدل متوسط خلال ٥ سنوات متتالية.

٢-الجرعات لعامة الناس.

للأشخاص الذين لا يعملون في بيئات يتعرضون فيها للإشعاع بشكل مهني، فإن الجرعات المسموح بها أقل بكثير فمثلا (١ملي سيفرت ((mSv) في السنة من مصادر الإشعاع الاصطناعي (غير الطبيعي) باستثناء الجرعات الطبية والإشعاع الطبيعي.

٣-الجرعات الطبية.

في المجال الطبي، تكون الجرعات متغيرة وتعتمد على نوع الإجراء الطبي، فمثلا التصوير الشعاعي أو العلاج الإشعاعي، التصوير الطبي (مثل الأشعة السينية)، الجرعة قد تتراوح من أقل من ٠,٠١ ملي سيفرت للفحص البسيط إلى ١٠ ملي سيفرت أو أكثر في بعض الفحوصات مثل التصوير المقطعي المحوسب (CT scan)، بينما في العلاج الإشعاعي يمكن أن تصل الجرعات إلى مئات الجراي (Gy)في مناطق معينة من الجسم في سياق علاج السرطان.

٤- التعرض العرضي.

في حالات الطوارئ النووية أو التعرض غير المقصـــود، يتم تطبيق معايير مختلفـة تعتمـد على حـالـة الطوارئ، ولكن في العموم 100– ملي ســـيفرت (mSv)تعد جرعة يمكن أن تؤدي إلى زيادة في خطر الإصابة بالســـــرطان، ولكنها ليســت قاتلة، فمثلا جرعات أعلى بكثير من هذا، مثل ١ جراي(Gy) أو أكثر، يمكن أن تســـبب تأثيرات حادة وخطيرة مثل متلازمة الإشـــعاع الحادة (ARS). تجدر الإشـــارة إلى أن هذه القيم هي إرشـــادية وتخضـــع لتغييرات مســـتمرة بناءً على الدراسات والأبحاث المستمرة في مجال الحماية من الإشعاع.

المصادر

١-القران الكريم.

٢. “Radiobiology for the Radiologist” (Eric J. Hall) and (Thomas J. Giaccia)

٢٠١٨: Wolters Kluwer.

٣. “Introduction to Health Physics” (Herman Cember) and (Thomas E. Johnson)

٢٠١٦ McGraw-Hill Education.

٤. “Radiation Protection in Medical Radiography”(Mary Alice Statkiewicz Sherer) (Paul J. Visconti)٢٠٢٠، : Elsevier.

٥. “Fundamentals of Nuclear Medicine Dosimetry” (Michael G. Stabin)،٢٠٠٨ : Springer.

٦. “Essentials of Nuclear Medicine Physics and Instrumentation” (Rachel A. Powsner) and (Edward R. Powsner) ٢٠١٣.Wiley-Blackwell.

٧. “Medical Effects of Ionizing Radiation” (Fred A. Mettler) (Arthur C. Upton)

٢٠١٨ : Saunders.

٨. “Nuclear Medicine and PET/CT: Technology and Techniques” Paul E. Christian) (Kristen M. Waterstram-Rich) ٢٠٢١،: Elsevier.

٩. “Atoms، Radiation، and Radiation Protection” (James E. Turner) :I٢٠١٢: Wiley.

1٠. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards Jointly sponsored by EC،

FAO، IAEA، ILO، OECD/NEA، PAHO، UNEP، WHO - (https://www.who.int/).

١١. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation -: IAEA (https://www.iaea.org/).

١٢. ICRP، 2019. Radiological protection in therapy with radiopharmaceuticals. ICRP Publication 140. Ann. ICRP 48(1).

١٣. Importance of Radiation Safety: Essential Protection Measures -: Uniray Medical، (https://www.uniraymedical.com/).

١٤. Radiation Protection of Workers and the Public: IAEA Human Health Campus (https://humanhealth.iaea.org/).

١٥. Health Effects of Ionizing Radiation -: WHO ا (https://www.who.int/).

١٦. Guide to Radiation Shieldin: IAEA. (https://www.iaea.org/)

١٧. Nuclear Medicine Dosimetry -.: IAEA.

١٨. Environmental Impact of Radiation -: Uniray Medical (https://www.uniraymedical.com/).

1٩. Radiation Devices in Medical Imaging - X-ray PET-CT.: WHO.

٢٠. Training in Radiation Safety: IAEA Human Health Campus (https://humanhealth.iaea.org/).

٢١. International Basic Safety Standards (BSS) -.: IAEA (https://www.iaea.org/).

٢٢. Pediatric Radiation Safety -.: ICRP.

٢٣. Radiation Safety Equipment -: Uniray Medical.

٢٤. Justification and Optimization in Medical Use of Radiation -: IAEA.

٢٥. Radon and its Impact on Health - WHO.

٢٦. Nuclear Medicine Applications -: IAEA.

٢٧. Time، Distance، and Shielding Principles -. Uniray Medical.

٢٨. Radiation in Daily Life -: WHO.

٢٩. Safety Guidelines for Radiation in Medical Settings -: IAEA (https://www.iaea.org/) .

المحتويات

الفقرة	الصفحة
الإهداء	٥
الفصل الأول: قسم الإنتاج	٧
مقدمة	٨
ماهي مراكز الطب النووي	٩
قسم الانتاج	٩
غاز الهيدروجين كمصدر للبروتونات	١٠
البلازما كمصدر للأيونات	١١
مبدا عمل السايكلوترون	١٢
استخدامات السايكلوترون	١٥
انتاج مركب فلوريد منقوص الاوكسجين	١٦
وقفة علمية مع الماء	١٨
الماء العادي	١٨
الماء الثقيل	١٨
الماء فوق الثقيل	١٩
الفصل الثاني / فحص الجودة	٢٠
المقدمة	٢١
الكواشف النووية	٢٣
محلل متعدد القنوات	٢٥
الكروماتوغرافيا الغازية	٣١
جهاز TLC Scanner	٣٣
جهاز اختبار التعقيم	٣٥
التعبئة والتحضير للتوزيع	٣٧
طرق اختبار السموم	٣٩
أهمية اختبار السموم	٤٠
التنظيم والمعايير	٤١
الفصل الثالث /قسم التصوير المقطعي	٤٢

المقدمة	٤٣
إجراءات الـ PET/CT للمرضى	٤٤
هل هو آمن وهل ينتقل لأفراد الأسرة؟	٤٥
السرطان	٤٦
قسم التفسير والتحليل	٤٨
أقسام ساندة	٥٠
أنواع الفحوصات	٥١
الفصل الرابع /الوقاية من الاشعاع	٧١
المقدمة	٧٢
مخاطر الاشعاع وطرق الوقاية منه	٧٣
أنواع الأشعة	٧٧
التأثير البايولوجي للإشعاع	٧٩
العوامل المؤثرة في التأثيرات البيولوجية	٨٢
طرق الوقاية من الاشعاع	٧٩
الخلاصة	٨٣
حوادث حقيقية لكوارث اشعاعية	٨٣
وحدات قياس الجرع الاشعاعية	٨٥
المصادر	٨٧
المحتويات	٩٠