

من إصدارات شبكة الفيزياء التعليمية

سلسلة تبسيط الفيزياء

أجهزة التشخيص الطبية

Medical Diagnostic equipment



الدكتور حازم فلاح بسكيك

أستاذ الفيزياء المشارك

في جامعة الأزهر - غزة



شبكة

الفيزياء التعليمية

[www.hazemsakeek.net](http://www.hazemsakeek.net)



إهداء إلى أبنائي

وطلابي

وكل محبي الفيزياء



الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين على الحبيب المختار رحمة للعالمين سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلم وبعد...

بتوفيق من الله سبحانه وتعالى؛ نقدم لكم اعزائي هذا الكتاب المتواضع الذي يقدم شرحا مبسطا عن أجهزة التسخين الطبية، موضحا مكوناتها وكيف تعمل وانهاط تشغيلها مدعومة بالصور والرسومات التوضيحية. قسم الكتاب إلى ستة أجزاء كل جزء يختص بتقنية من تقنيات التصوير الطبي مثل التصوير باشعة اكس والتصوير الفلوروسكوبي والتصوير المقطعي والتصوير بالرنين المغناطيسي

والتصوير بالامواج فوق الصوتية والتصوير النووي مع توضيح لأهمية كل تقنية وكيف تعمل مع التركيز الجانب الفيزيائي لها وكيف تكون الصورة وخصائصها. وان شاء الله سنعمل على إضافة المزيد من تقنيات التصوير الطبي في الطبعة الثانية لتستهل على المزيد من الأجهزة والتقنيات الحديثة المستخدمة في المجالات الطبية.

يأتي هذا الكتاب ضمن سلسلة تبسيط الفيزياء التي تنتجها شبكة الفيزياء التعليمية. تهدف هذه السلسلة إلى تقديم الفيزياء بأسلوب علمي مبسط وسهل الفهم من خلال شرح تركيب واستخدامات الأجهزة الالكترونية الحديثة والمتطورة مع مراعاة كافة الفئات العمرية للقراء الكرام بحيث يتمكن طلاب المرحلة الثانوية وطلبة الجامعة الاستفادة منها هو مقدم ضمن هذه السلسلة.

أتمنى ان تكون محتويات هذا الكتاب مفيدة للقارئ وتقدم له معلومات جديدة ونافعة بإذن الله.






دكتور حازم فلاح سكيك

غزة 25 - 11 - 2013

[www.hazemsakeek.net](http://www.hazemsakeek.net)



# المحتويات

7	<b>الجزء الأول</b> <b>أشعة اكس</b> X-ray	
20	<b>الجزء الثاني</b> <b>التصوير الفلوروسكوبي</b> Fluoroscopy	
40	<b>الجزء الثالث</b> <b>الأمواج فوق الصوتية</b> Ultrasound	
55	<b>الجزء الرابع</b> <b>التصوير بالرنين المغناطيسي</b> Magnetic Resonance Imaging (MRI)	
74	<b>الجزء الخامس</b> <b>جهاز التصوير المقطعي</b> Computerized Axial Tomography (CAT)	
86	<b>الجزء السادس</b> <b>الطب النووي</b> Nuclear Medicine	



## مقدمة

تقنيات التصوير الطبي هي التقنيات والعمليات المستخدمة للحصول على صور للجسم البشري (أو أجزاء منه) للأغراض التشخيصية، العلاجية أو البحثية. يعتبر التصوير الطبي علم واسع يشارك فيه الكثير من المفاهيم العلمية والهندسية والكمبيوتر. وكلما تطورت هذه العلوم نتج عنها أجهزة متقدمة تساعد الطبيب في الكشف عن المرض بسهولة وبدقة عالية. وفي هذا الكتاب سوف نعرض مجموعة من تقنيات التصوير الطبي الحديث مع التركيز على المفاهيم الفيزيائية لفكرة عمل كل تقنية وكيف تنتج الصورة واهم المزايا والعيوب المتعلقة بكل تقنية.

**الجزء الأول** يركز على التصوير باشعة اكس ويستخدم عادة لتحديد نوع ومدى كسور العظام في الحالات الاسعافية.

**الجزء الثاني** يركز على تقنية الفلوروسكوبي التي توفر صوراً حية للأعضاء الداخلية للجسم بنفس طريقة التصوير باشعة اكس ولكنها تستخدم مادة وسيطة مثل الباريوم، اليود، لإظهار الأعضاء الداخلية أثناء عملها. تستخدم طريقة التصوير الفلوروسكوبي في العمليات تحت التصوير عندما تكون هناك حاجة للحصول على معلومات عن الأعضاء الداخلية أثناء العملية.

**الجزء الثالث** يستخدم التصوير باستخدام الأمواج فوق الصوتية الالتراساوند وهي موجات صوتية ذات تردد عال يتراوح بين 2 إلى 10 ميغاهرتز والتي تنعكس من قبل أنسجة الجسم بزوايا مختلفة لتنتج صوراً ثنائية الأبعاد



عادة على الشاشة. غالبا ما تستخدم هذه الطريقة لمراقبة الجنين عند النساء الحوامل. تتضمن بعض الاستخدامات الهامة الأخرى تصوير الأعضاء الباطنة، القلب، الأعضاء التناسلية الذكرية، وأوردة الأرجل. على الرغم أن هذه الطريقة تقدم معلومات تشريحية أقل من طرق التصوير الأخرى كالتصوير بالأشعة المقطعية أو بالرنين المغناطيسي إلا أن لها العديد من الميزات التي تجعلها من أفضل أدوات التشخيص في العديد من الحالات وخاصة الحالات التي تتضمن دراسة وظائف الأعضاء المتحركة في الزمن الفعلي، كما أنه من الآمن أيضا استخدام هذه الطريقة على اعتبار أن المريض لا يتعرض إلى أي تأثير إشعاعي.

التصوير بالرنين المغناطيسي هو موضوع الجزء الرابع يستخدم مغناطيسات قوية ليستقطب نواة الهيدروجين في جزيئات الماء الموجودة في الأنسجة البشرية مولدة إشارة قابلة للرصد حيث يتم فك تشفيرها معطية صورة للجسم. يستخدم التصوير بالرنين المغناطيسي ثلاث أنواع من الحقول الكهرومغناطيسي: سوف نشرحها بالتفصيل. تتمكن أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي الحديثة من إنتاج صوراً ثلاثية الأبعاد والتي تعتبر تعميماً للصور الثنائية البعد. على خلاف التصوير بأشعة اكس فإن التصوير بالرنين المغناطيسي لا يستخدم أي نوع من الأشعة المؤينة وبالتالي فإنه لا يتصاحب مع مخاطر صحية، حيث أنه ليس من المعروف وجود أي مخاطر صحية على المستوى البعيد للتعرض إلى حقل مغناطيسي ساكن قوي، ولكن يوجد مخاطر صحية من جراء تسخين الأنسجة بتعريضها لحقل الأمواج الراديوية والتأثير على الأجهزة المزروعة ضمن الجسم كمنظمات عمل القلب.

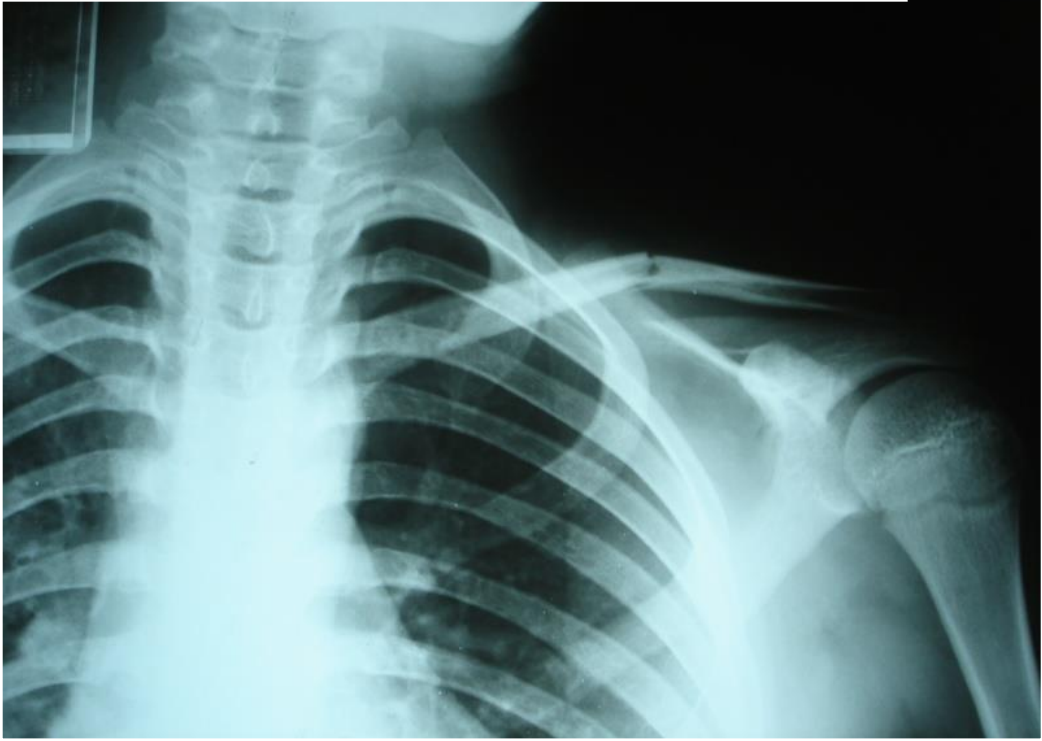




التصوير بالأشعة المقطعية هو موضوع الجزء الخامس وهي أحد وسائل التصوير الطبي تعتمد على أشعة اكس لتكوين صورة ثلاثية الأبعاد لأعضاء الجسم الداخلية. وتتكون عن طريق عدة صور ثنائية الأبعاد تلتقط حول محور ثابت للدوران. ويتميز التصوير المقطعي بوضوح عالي جداً للصورة ويظهر تفاصيل العظام بشكل متناهي الدقة بعكس تصوير الرنين المغناطيسي الذي يصور الأنسجة الرخوة بدقة عالية.

التصوير النووي وهو موضوع الجزء السادس حيث تستخدم الصور من كاميرا جاما في الطب النووي لالتقاط مناطق النشاط الحيوي والتي غالباً ما تكون مترافقة مع الأمراض كالسرطان. يتم حقن المريض بنظير مثل نظير اليود 123 حيث يتم امتصاص هذه النظائر بسرعة أكبر من قبل المناطق الحيوية الفعالة في الجسم كالأورام السرطانية أو الشقوق في العظام. كما يعرض هذا الجزء فكرة شاملة عن تقنية التصوير بإشعاع البوزيترون (PET) والتي تستخدم في التحري عن أمراض الدماغ والقلب. وكما في الطب النووي يستخدم نظير له عمر النصف قصير، فتكون مدة نشاطه الإشعاعي في الجسم قصيرة، مثل نظير الفلور 18 الذي يمكن أن يدخل في تركيب مواد تستهلك في الجسم البشري مثل سكر الجلوكوز، الذي يتم استهلاكه بشكل مباشر من قبل الخلايا السرطانية.

# التصوير بأشعة اكس





## أشعة اكس X-ray



Wilhelm Röntgen

في عام 1895 اكتشف عالم ألماني اسمه ويليام رونتجن Wilhelm Roentgen أشعة أكس بينما كان يجري تجربة تسليط شعاع الكتروني على أنبوبة تأين غازي gas discharge tube. لاحظ العالم رونتجن أن الشاشة الفوسفورية في المختبر بدأت تتوهج عند اصطدام شعاع الالكترونات عليها. هذه النتيجة في حد ذاتها لم تكن

مدهشه حيث كان من المعلوم أن تتوهج الشاشة الفوسفورية بفعل الشعاع الالكتروني ولكن رونتجن أحاط الأنبوبة المفرغة بألواح سوداء سميكة لتمكن من حجب الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الأنبوبة المفرغة، كما وضع رونتجن عدة أجسام بين الأنبوبة والشاشة الفوسفورية وكانت النتيجة إن الشاشة الفوسفورية لازالت تتوهج. وحتى يتأكد من أن هناك أشعة جديدة هي التي اخترقت تلك الأجسام ووصلت إلى الشاشة الفوسفورية قام رونتجن بتجربة إضافية وهي بأنه قام بوضع يده أمام الأنبوبة المفرغة وشاهد على الشاشة الفوسفورية صورة لعظام يده، لاحظ هنا إن رونتجن اكتشف أشعة جديدة هي أشعة اكس وفي نفس الوقت اكتشف احد أهم تطبيقاتها.

اكتشف رونتجن أعظم وأهم انجاز طبي في تاريخ البشرية وهو التشخيص باستخدام أشعة اكس التي تسمح للأطباء بتشخيص الكسور في العظام بدون إجراء



عملية جراحية كما تستخدم أشعة اكس للكشف على الأجسام الغريبة في جسم الإنسان وتطور التشخيص بأشعة اكس لتمكن الأطباء من تصوير الأوعية الدموية والأعضاء البيولوجية في جسم الإنسان.

في هذه الجزء سوف نقوم بتوضيح الفكرة الفيزيائية لإنتاج أشعة اكس وشرح تركيب الجهاز.

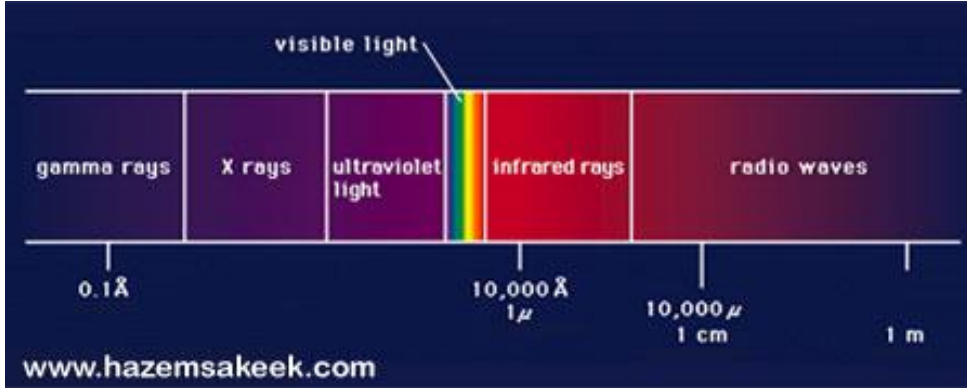
### ما هي أشعة أكس؟

أشعة اكس في الأساس مثل الأشعة المرئية حيث إنها جزء من الطيف الكهرومغناطيسي ولكن أشعة اكس تحمل طاقة أكبر من طاقة الأشعة المرئية بكثير. ولشرح ذلك دعنا نجري مقارنة بين الأشعة المرئية وأشعة اكس، يمكن التمييز بين هذين النوعين من الأشعة من حيث طاقة الفوتون أو الطول الموجي أو التردد وكل تلك الكميات ترتبط مع بعضها البعض من خلال المعادلات التالية:

$$E = h \nu \quad \text{طاقة الفوتون} = \text{ثابت بلانك} \times \text{التردد}$$

$$\nu = \frac{C}{\lambda} \quad \text{التردد} = \text{سرعة الضوء} / \text{الطول الموجي}$$

تمتاز أشعة اكس بان طاقة فوتوناتها أكبر من طاقة فوتونات الأشعة المرئية وهذا يعني أن ترددها كبير وطولها الموجي قصير.



تستطيع العين البشرية الرؤية من خلال الأشعة المرئية لأن الله سبحانه وتعالى حدد لنا هذا الجزء من الطيف الكهرومغناطيسي نستطيع الرؤية والتمتع بحاسة الإبصار من خلالها وبالتالي تعتبر أشعة اكس أشعة غير مرئية بالنسبة لنا مثلها مثل أشعة الراديو والأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية ولكن الفرق بين كل تلك الأشعة هي ان خواصها من ناحية طاقة الفوتون والتردد والطول الموجي لها.

السؤال الآن كيف أن الذرة التي تنتج الأشعة المرئية هي نفسها التي تنتج أشعة أكس؟

كلا من الأشعة المرئية وأشعة اكس تنتج من الانتقال الالكتروني بين مستويات الطاقة في الذرة. تشغل الالكترونات مستويات طاقة أو مدارات مختلفة حول النواة في الذرة وعندما ينتقل إلكترون من مستوى طاقة عالي إلى مستوى طاقة منخفض ينطلق فوتون يحمل فرق الطاقة بين المستويين. تعتمد طاقة الفوتون المنبعث على الفرق بين مستويات الطاقة في الذرة فيمكن ان تكون طاقة الفوتون الناتج في مدى الأشعة المرئية فينتج ضوء مرئي ويمكن ان تكون طاقة الفوتون المنبعث في المدى



الغير المرئي فينتج أشعة غير مرئية، إذا نستنتج أن ما يحدد طاقة الفوتون الناتج أو المنبعث من الذرة هو الانتقال الإلكتروني بين مستويات الطاقة.

عندما يصطدم الفوتون المنبعث بذرة أخرى فإن تلك الذرة تمتص طاقة الفوتون

من خلال احد الكترولونات لينتقل الإلكترولون من مستوى طاقة منخفص إلى مستوى طاقة أعلى لأنه امتص طاقة إضافية. وشرط امتصاص الإلكترولون طاقة الفوتون ان تكون طاقة الفوتون تساوي فرق مستويات الطاقة التي سينتقل لها الإلكترولون (هذا شرط يعود إلى طبيعة الذرة بنية الذرة كما خلقها الله سبحانه وتعالى) وإذا اختل هذا الشرط فلن يحدث امتصاص الفوتون من قبل الذرة.

الذرات التي تكون أجسامنا تتعامل مع الأشعة الكهرومغناطيسية (نقصد كل الأشعة المرئية والأشعة الغير مرئية) بنفس الآلية السابقة، فأشعة الراديو التي تحيط بنا لا تمتلك الطاقة الكافية لتنقل الكترولونات الذرات من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة أعلى لذلك فهذه الأشعة تعبر أجسامنا دون امتصاص لفوتوناتها. أما أشعة أكس ففوتوناتها ذات طاقة عالية تمكنها من ان تعبر كل الأشياء في طريقها ولكن



بطريقة مختلفة عن أشعة الراديو حيث تستطيع أشعة اكس ان تمنح الكترونات الذرات الطاقة الكافية مما قد تسبب تلك الطاقة من تحرير الالكترونات من الذرة تماما كما يحدث في ذرات العناصر الخفيفة (عدد ذري قليل) حيث يستغل جزء من طاقة فوتون أشعة اكس من تحرير الإلكترون من الذرة والجزء المتبقي يكسب الإلكترون طاقة حركة ليغادر الذرة. ولكن في ذرات العناصر الثقيلة (لها عدد ذري كبير) فإنها تمتص طاقة أشعة اكس لوجود مستويات طاقة تتوافق مع طاقة فوتون أشعة اكس.

نستنتج مما سبق ان العناصر الخفيفة ذات ذرات صغيرة لا تمتص أشعة اكس وان العناصر الثقيلة ذات الذرات الكبيرة تمتص أشعة اكس.

الخلايا المكونة للجلد في أجسامنا تتكون من ذرات صغيرة وبالتالي لا تمتص أشعة اكس بينما ذرات الكالسيوم المكونة للعظام هي ذرات كبيرة و تمتص فوتونات أشعة اكس.

في الجزء التالي سنتناول شرح تركيب جهاز إنتاج أشعة اكس وشرح فكرة عمله.

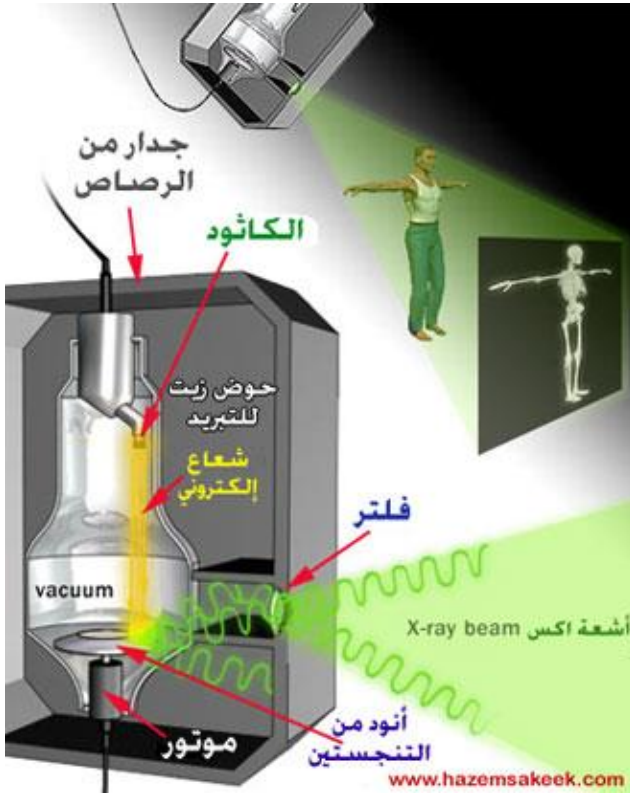
### استخدامات أخرى لأشعة اكس

لأشعة اكس استخدامات جمة وفي مجالات عديدة فكما أن لأشعة اكس دور كبير في تطور علم الطب فقد لعبت هذه الأشعة دور كبير في مجال ميكانيكا الكم وعلم البلورات وعلم الفلك وفي مجال



التطبيقات الصناعية تستخدم أشعة اكس كإسحات للكشف عن العيوب في المنتجات الصناعية وتعتبر أشعة اكس احد أهم المعدات المستخدمة في المطارات للكشف عن الأجسام المشبوهة.

### جهاز إنتاج أشعة اكس



يشكل الالكترود قلب جهاز إنتاج أشعة اكس والذي يتكون من كاثود وأنود داخل أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء. يتكون الكاثود من فتيلة تسخين مثل الموجودة في المصباح الكهربائي، عندما يمر التيار الكهربائي خلال الفتيلة ترتفع درجة حرارتها تدريجياً إلى ان تصل درجة

الحرارة التي تمكن إلكترونات الفتيلة من الانبعاث من سطحها. الأنود عبارة عن قرص من التنجستين مشحون بشحنة موجبة تعمل على جذب الالكترونات المحررة من الكاثود.





يطبق فرق الجهد عالي بين الكاثود والأنود يساعد على تعجيل الإلكترونات لتنتقل بقوة في اتجاه الأنود. عندما تصطدم الإلكترونات بذرات مادة الانود (التنجستين) فإن هذه الإلكترونات تعمل على الاصطدام بالإلكترونات ذرات التنجستين في المدارات الداخلية القريبة من نواة الذرة والتي تكون طاقتها كبيرة. يقوم إلكترون في مدار أعلى بسد الفراغ الذي حدث مما يحدث انطلاق لفوتون يحمل فرق الطاقة بين المستويين. ولأن الفرق في مستويي الطاقة كبير فإن الفوتون الناتج يكون فوتون أشعة أكس.

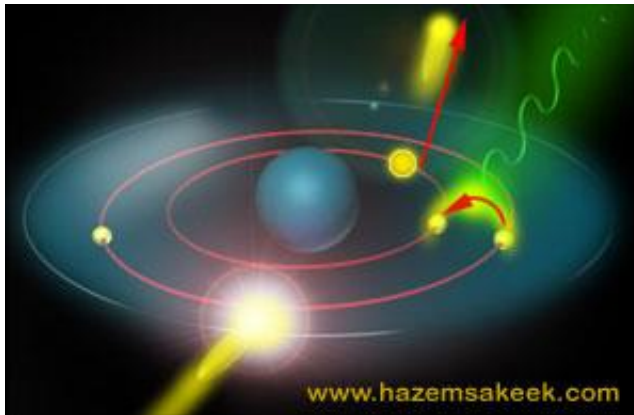


تصطدم الإلكترونات الحرة بذرة التنجستين، تحرر إلكترونات في مدارات داخلية.. تنتقل الكاترونات من مدارات أعلى لتملئ الفراغ الناتج وينطلق فوتون يحمل فرق الطاقة.

يمكن ان نحصل على فوتونات أشعة أكس بطريقة أخرى وهي بدون ان تصطدم الإلكترونات الحرة بالذرة، وذلك عن كما في الحالة التالية: عندما تقترب إلكترونات حرة معجلة بالقرب من نواة الأنود فإنها تنجذب لها بفعل قوة كولوم الكهربائية، لأن



النواة موجبة الشحنة والإلكترونات سالبة فتتحرف الإلكترونات عن مسارها مما يؤدي إلى تغيير في طاقة حركتها وتنطلق فوتونات أشعة اكس تحمل فرق الطاقة قبل الانحراف بجوار النواة وبعدها. تعرف هذه الطريقة بظاهرة الفرملة breaking action وبالألمانية تسمى بظاهرة بيرمشتراهلينج Bremsstrahlung هي الاسم العلمي لظاهرة إنتاج أشعة اكس أي فرملة الإلكترونات عند مرورها بجوار انوية العناصر الثقيلة التي تشكل مادة الأنود.



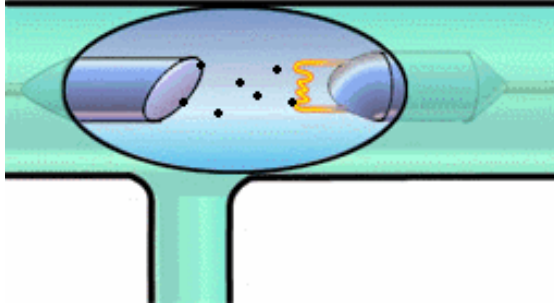
الإلكترونات الحرة تنجذب إلى نواة ذرات التنجستين، وكلما اقتربت تلك الإلكترونات المعجلة من النواة فإنها تنحرف عن مسارها مما ينتج تغيير في طاقتها فتنتقل فوتونات أشعة أكس.

#### الخلاصة:

نستنتج مما سبق ان الذرة هي المسؤولة عن إنتاج أشعة اكس ولكن يختلف الأمر عنه في حالة الأشعة المرئية حيث إنه يتم إثارة إلكترونات المدارات الداخلية للعنصر



المنتج لأشعة اكس بينما في الأشعة المرئية يتم إثارة الكترونات المدارات الخارجية.



### ملاحظة:

- إن التصادم الحادث بين الإلكترونات المعجلة ومادة الأنود لتوليد أشعة أكس تعمل على توليد الكثير من الحرارة. لذلك يستخدم موتور ليعمل على لف قرص الأنود لنضمن تعرض مناطق مختلفة من مادة الأنود لشعاع الإلكترونات في كل مرة، مما يحميها من الانصهار بفعل الاصطدام المستمر والحرارة الناتجة.
- يستخدم حواجز من الرصاص لمنع أشعة اكس من الخروج والانبعث في كافة الاتجاهات. ويتم تحديد منفذ أشعة اكس عبر نافذة تفتح في الحواجز وقبل خروجها تمر عبر عدة مرشحات قبل ان تسقط على جسم المريض المراد تصويره.
- تثبت كاميرا لتسجيل فوتونات أشعة اكس التي عبرت خلال جسم المريض وتستخدم تلك الكاميرات أفلام خاصة حساسة لأشعة اكس تستخدم نفس التكنولوجيا المستخدمة في الأفلام العادية المستخدمة في التصوير بالكاميرات العادية الحساسة للضوء المرئي.



- يتم الاحتفاظ بالصورة في صورة نيجاتيف ويتم فحص الصورة تحت ضوء أبيض فتظهر المناطق التي امتصت أشعة اكس مثل العظام والمواد الصلبة تظهر في الصورة بيضاء بينما المناطق التي لم تمتص أشعة اكس مثل الجلد والعضلات والأوعية الدموية تظهر في الصورة معتمة.

### مادة التباين Contrast Media

#### والتصوير الفلوروسكوبي

في صورة أشعة اكس لجسم المريض لا يظهر أية آثار للأوعية الدموية أو للأعضاء العضوية مثل الكبد أو المعدة أو الأمعاء، ولإظهار أية من تلك الأعضاء في صورة أشعة اكس بغرض تشخيص مرض ما فإن أخصائي أشعة أمس يحقن جسم المريض بمادة تباين contrast media مثل مادة الباريوم barium.

تتكون مادة التباين هذه من سائل يمتص أشعة اكس بكفاءة أعلى من الأنسجة المحيطة به فعند حقن المريض بالباريم السائل في الوريد تصبح الأوعية الدموية قادرة على امتصاص أشعة اكس مما ينتج عنه صورة للأوعية الدموية على فيلم أشعة اكس. ويسمى التصوير بحقن المريض بمادة التباين بالفلوروسكوبي fluoroscopy.

يعتبر الفلوروسكوبي من التقنيات التي تستخدم أشعة اكس لتصوير تدفق مادة التباين خلال الجسم عبر فترات زمنية محددة فيتم حقن



المريض بمادة التباين ومن ثم يتم تعريض المريض لجرعات من أشعة اكس على فترات زمنية متقطعة لرصد تدفق المادة وانسيابها خلال جسم المريض الصورة على شاشة فوسفورية تظهر مراحل انسياب مادة التباين خلال الجسم والطبيب يقرر الصورة التي يريد التقاطها عند فترات زمنية محددة للتشخيص فيما بعد. وهذا ما سنوضحه في الجزء الثاني من الكتاب.

### هل أشعة اكس ضارة لنا؟

بالرغم من الفوائد الجمة التي وفرتها أشعة اكس في مساعدة الطبيب على تشخيص المريض واكتشاف كسور العظام دون الحاجة إلى إجراء العمليات الجراحية إلا أن أشعة اكس من الممكن ان تكون ضارة.

ففي أول استخدام أشعة اكس تعرض المريض والطبيب لجرعة كبيرة من أشعة اكس سببت أعراض مرضية مثل التي تسببها العناصر المشعة على الجلد. والسبب في ذلك يعود إلى ان أشعة اكس هي في حد ذاتها أشعة متأينة ionization radiation. فعندما يصطدم الضوء العادي بالذرة فلا يحدث تغيير يذكر على الذرة ولكن في حالة أشعة اكس تصطدم بالذرة فإنها تعمل على تحرير الكترونات الذرة وتحويلها إلى أيون موجب وتقوم الالكترونات المتحررة بتحويل المزيد من الذرات المجاورة إلى ايونات بالتصادم معها.



الايونات أجسام مشحونة كهربياً وليست متعادلة مثل الذرات مما يسبب تفاعلات كيميائية غير طبيعية داخل الخلايا الحية ومن الممكن أيضاً أن يحدث خلل في سلاسل حمض الـ DNA. حدوث خلل في الـ DNA قد يسبب موت لتلك الخلية مما يسبب الكثير من الأمراض الغير متوقعة أو ان تتحول الخلية الحية إذا لم تمت إلى خلايا سرطانية تنتشر في جسم الإنسان لا سمح الله.

أي انه بالرغم من فوائد أشعة اكس فإن التعرض الأكثر من اللازم للأشعة له من الآثار التي لا يحمد عقباها.

وبالرغم من كل ذلك تعتبر أجهزة أشعة اكس الأجهزة الأكثر أماناً بين الخيارات المطروحة أمام الطبيب لاستخدامها وان جهاز أشعة اكس لا غنى عنه في المستشفيات ويعتبر من أهم انجازات التقنية العلمية عبر العصور.



# التصوير الفلوروسكوبي





## التصوير الفلوروسكوبي □

### □ Fluoroscopy



يعتمد الطبيب في عمله بشكل أساسي على الأجهزة المستخدمة في عمليات التشخيص مثل التصوير بالأشعة فوق الصوتية والتصوير بالرنين المغناطيسي والتصوير بأشعة أكس وغيرها من التقنيات. تعتمد فكرة عمل أجهزة التشخيص على مبادئ الفيزياء المختلفة. نلاحظ ان اسم التقنية اعتمد على الظاهرة الفيزيائية التي يعتمد عليها جهاز التشخيص في عمله وسوف نقدم من خلال صفحات هذا الكتاب شرحا مبسطا لها ولفكرة عملها. اما في هذا الجزء سوف نلقى الضوء على



تقنية التصوير الفلوروسكوبي أحد تقنيات التصوير بأشعة اكس. مع التركيز على شرح أجزاء الجهاز وفكرة عملها ومراحل تطور تقنية التصوير الفلوروسكوبي.

الوظيفة الأساسية للتصوير الفلوروسكوبي fluoroscopy هو الحصول على صورة مرئية ديناميكية متحركة لما يحدث في داخل جسم الانسان على خلاف التصوير الثابت الذي يتم بالتصوير المعتاد radiography. حيث ان الدراسات الديناميكية هي فحوصات تظهر حركة الأعضاء الداخلية في جسم الانسان مثل حركة القلب وعملية التنفس.

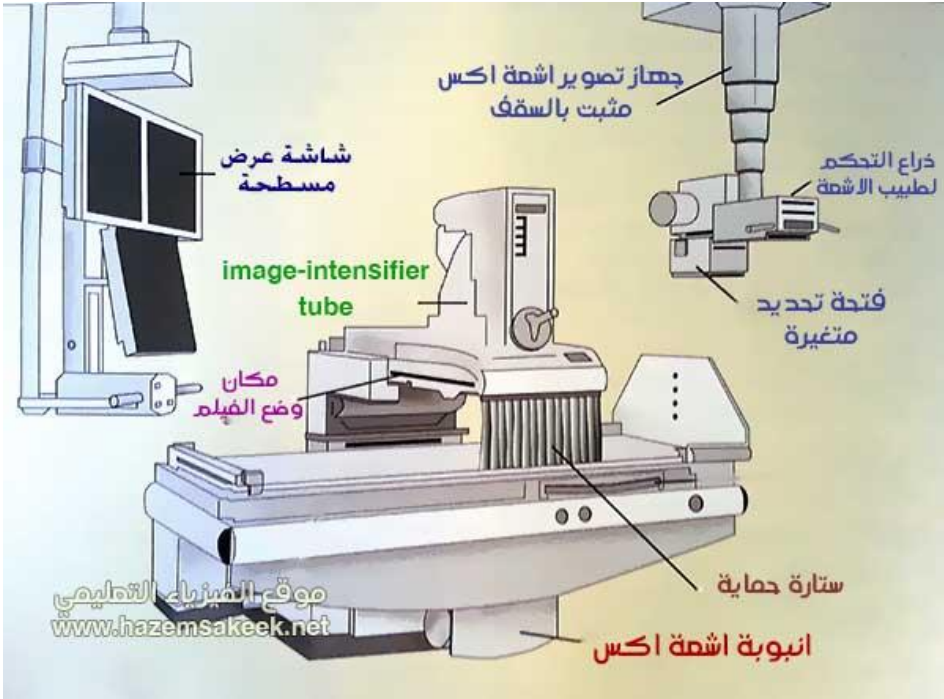
اثناء فحص الفلوروسكوبي يقوم طبيب الاشعة باستخدام مادة صبغية لتعزيز تباين العضو المراد تصويره. ومن ثم يقوم طبيب الاشعة بمراقبة صور مرئية مستمرة للأعضاء الداخلية في جسم الانسان تنتج عن تعرض المريض لاشعة اكس. إذا لاحظ طبيب الاشعة شيء غريب اثناء فحص الفلوروسكوبي فانه يمكنه ان يلتقط صورة حتى يتسنى فحص الامر بدقة بعد انتهاء الفحص.

ادخل في حديثنا تقنية الكمبيوتر على تقنية التصوير الفلوروسكوبي وهذا أدى الى تعزيز هذه التقنية والحصول على صور واضحة لم يمكن الحصول عليها من قبل وفي هذا المقال سوف نستعرض شرحا مبسطا لتقنية الفلوروسكوبي وكيف تتم مع التركيز على الأجهزة وكيفية عملها ودور الفيزياء في هذا الجانب الهام من التشخيص الطبي من خلال الفلوروسكوبي.

منذ ان اخترع طومسون اديسون الفلوروسكوبي في العام 1896 احتفظت هذه التقنية بأهميتها كأداة تشخيص هامة في مجال التصوير الاشعاعي. وفي الواقع فان



تصوير الفلوروسكوبي ما هو الا تصوير تقليدي باستخدام اشعة اكس الا ان استخدامه يركز على تصوير الاوعية الدموية وهذا النوع من التصوير يعرف باسم ال angiography أي تصوير الاوعية الدموية، وتنقسم هذه التقنية إلى قسمين هما التصوير الاشعاعي العصبي neuroradiology والتصوير الاشعاعي للاوعية الدموية vascular radiology



شكل 1 يوضح مخطط تفصيلي لنظام التصوير الفلوروسكوبي

يوضح الشكل 1 مخطط لكامل نظام تصوير الفلوروسكوبي. يكون جهاز اشعة اكس في اغلب الأنظمة مثبتا ومخفيا أسفل سرير المريض. يتم تثبيت جهاز زيادة شدة اضاءة الصورة او ما يعرف باسم image intensifier وأجهزة الرصد المختلفة



الأخرى فوق سرير المريض. تظهر الصورة على شاشة التلفزيون. يتم تشغيل جهاز اشعة اكس خلال التصوير الفلوروسكوبي عند تيار اقل من 5mA وهي قيمة صغيرة بالمقارنة مع القيمة المستخدمة في الحصول على صور اشعة اكس والتي تصل لبضعة مئات من ملي امبير، وبالرغم من ان قيمة التيار المستخدمة قليلة نسبيا الا ان الجرعة الاشعاعية التي يتعرض لها المريض تكون كبيرة خلال فحص الفلوروسكوبي لان المريض يتعرض بصورة مستمرة لاشعة اكس لفترة طويلة نسبيا من الزمن. اما بالنسبة لقيمة kVp المستخدمة اثناء الفحص فهي تعتمد على الجزء المراد تصويره من الجسم. يمكن لطبيب الاشعة التحكم في مستوى اضاءة الصورة من خلال التحكم في كلا من kVp أو mA او كلاهما.

### المتطلبات الأساسية للتصوير الفلوروسكوبي

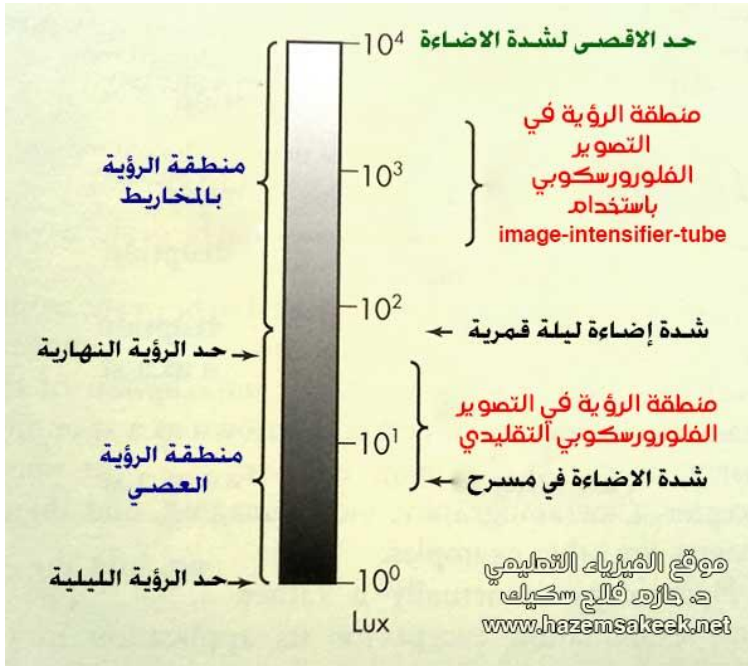
الفلوروسكوبي هي عملية ديناميكية ولذلك فان على طبيب الاشعة ان يتكيف مع الصور المتحركة والتي تظهر في بعض الأحيان معتمة. وهذا يتطلب معرفة بشدة اضاءة الصور وعلم الابصار والرؤية.

### شدة الإضاءة illumination

إضاف استخدام جهاز زيادة شدة اضاءة الصورة image-intensifier مزايا عديدة على أنواع الفلوروسكوبي التقليدية حيث عمل هذا الجهاز على زيادة شدة اضاءة الصور الناتجة. وكما هو الامر صعبا عندما تحاول قراءة كتابا بالاعتماد على ضوء



خافت فانه من الصعب فهم وتفسير صور الفلوروسكوبي الباهتة.  
تقاس مستويات شدة الإضاءة بوحدة اللومين لكل متر مربع ويرمز لها ب lux.  
وتجدر الإشارة هنا الى ان العين تستطيع ان ترى على مدى واسع من مستويات الإضاءة. ويوضح الشكل 2 مستويات الإضاءة لبعض الاجسام المعروفة حتى نستطيع تخيل وحدة lux.



الشكل 2 مستويات شدة الإضاءة لبعض الاجسام المعروفة

وكما نعلم ان المجسات البصرية في العين تعتمد على نوعين من المجسات هما العصبي للرؤية الليلية scotopic vision والمخاريط للرؤية النهارية photopic vision وبالتالي فانه حسب ما هو موضح في الشكل 2 ان العين تعتمد على مجسات العصبي

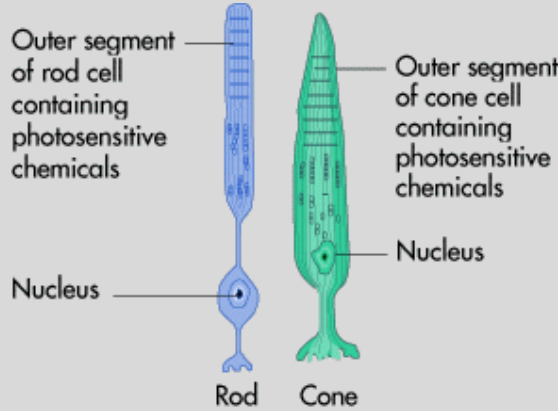




في حالات مستويات الإضاءة الأقل من 100 lux وهذا النطاق الذي تكونت فيه الصور التي حصل عليها طبيب الأشعة من الفلوروسكوبي التقليدي ولكن بعد ادخال جهاز تكبير شدة الإضاءة image-intensifier أصبحت الصور التي نحصل عليها من جهاز الفلوروسكوبي في مستويات تسمح برؤيتها بالعين معتمدة على المخاريط لان شدة الإضاءة أصبحت اعلى من 100 lux وهي منطقة الرؤية النهارية.

### شرح تركيب العين والفرق بين المخاريط والعصي.

الشبكية غشاء معقد جداً في تركيبه ويحتوي على 10 طبقات من الأنسجة المؤلفة من أكثر من مليون خلية عصبية وما يقارب الـ 150 مليون خلية مستقبلية للضوء والتي تعرف باسم العصي والمخاريط Rods and Cones وذلك نظراً لشكلها الذي يشبه العصي والمخاريط.



تعتمد الرؤية الواضحة في النهار على المخاريط Cones فقط حيث ان كل خلية مخروطية تتصل بعصب بصري خاص وتعمل هذه المخاريط في الضوء، اما في حالات الانارة الباهتة او في العتمة فإن الرؤية تعتمد على العصي Rods فقط وحيث



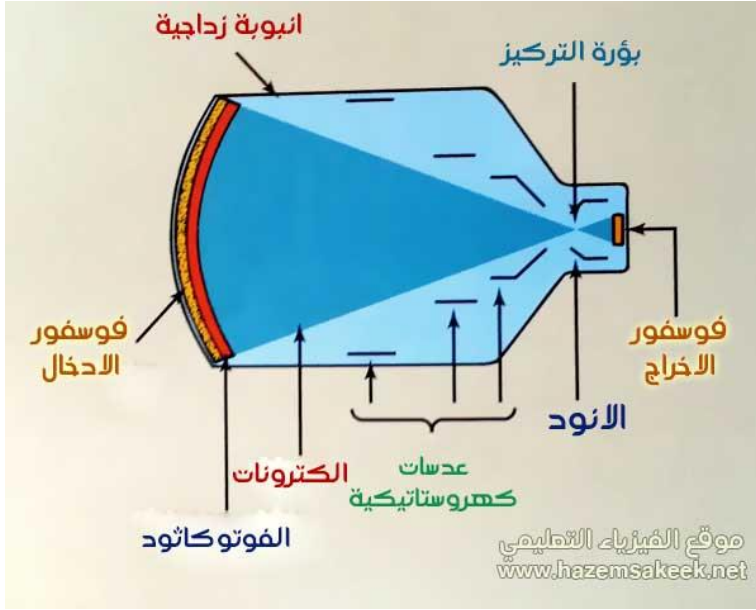
ان كل مجموعة من العصي متصلة مع عصب بصري واحد فإن الرؤية لا تكون واضحة ولا تكون الالوان زاهية كما هي في النهار. وهذا السبب في ان مشهد حديقة تبدو في ضوء النهار جميلة وزاهية الالوان وفي الانارة الباهتة تكون موحشة.

### تقنية الفلوروسكوبي

اثناء فحص الفلوروسكوبي يفضل الحصول على ادق التفاصيل وهذا يتطلب مستويات شدة اضاءة عالية، ولهذا السبب ادخل جهاز زيادة شدة اضاءة الصورة image-intensifier لاستبدال شاشات الفلوريسنت المستخدمة في الفلوروسكوبي التقليدي والي كان على طبيب الاشعة ان يفحص الصور في غرف معتمة بعد ان يتكيف على الرؤية الليلية لمدة 15 دقيقة بالجلوس في غرفة معتمة او بارتداء نظارات خاصة. مع استخدام جهاز زيادة شدة اضاءة الصورة ازدادت الإضاءة لتنتقل إلى منطقة الرؤية النهارية.

### زيادة شدة اضاءة الصورة باستخدام image-intensifier

تعتبر انبوبة زيادة شدة اضاءة الصورة جهاز الكتروني معقد يستقبل الصور المتكونة من اشعة اكس ويحولها إلى صورة بالضوء المرئي مع زيادة شدة اضاءتها. يتكون جهاز زيادة شدة اضاءة الصورة من انبوبة زجاجية مفرغة من الهواء كما هو موضح في الشكل 3 وتوضع الانبوبة في علبة معدنية لحمايتها من الكسر.



الشكل 3 تقوم انبوبة زيادة شدة اضاءة الصورة بتحويل اشعة اكس التي تحمل تفاصيل الصورة إلى اشعة مرئية.

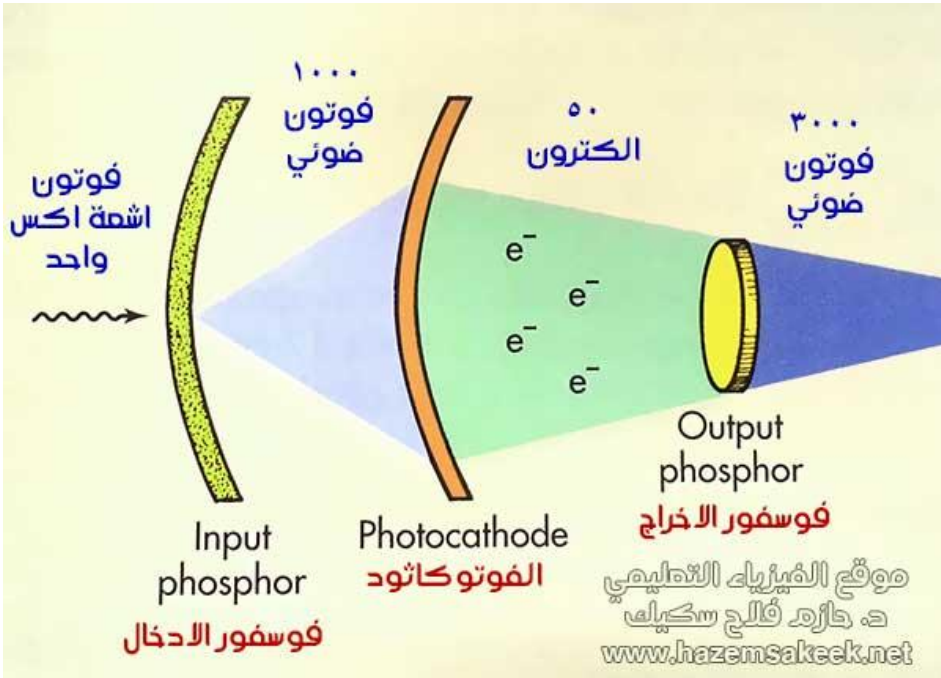
عندما تنفذ اشعة اكس من جسم المريض فإنها تسقط على انبوبة زيادة شدة اضاءة الصورة وبالتحديد على شريحة ادخال فسفورية input phosphor وهي طبقة من ايوديد السيزيوم CsI. تمتص طبقة ايوديد السيزيوم فوتونات اشعة اكس ومن ثم تبعثها من الجهة المقابلة (داخل الانبوبة) إلى فوتونات ضوء مرئي..

يلي طبقة ايوديد السيزيوم طبقة الفوتوكاثود photocathode وهي طبقة معدنية رقيقة تحتوي على مركبي السيزيوم والانتيموني والتي تقوم بامتصاص الضوء المرئي الناتج عن طبقة فوسفور الادخال إلى الكثرونات. تتناسب عدد الكثرونات الناتجة عن الفوتوكاثود مع شدة اشعة اكس النافذة من جسم المريض.



يبلغ طول انبوبة زيادة شدة اضاءة الصورة ما يقارب 50cm ويستخدم فرق جهد على يصل إلى 25,000 V مطبق بين الفوتوكاثود والانود وهذا يجعل الالكترونات الناتجة من الفوتوكاثود تتسارع في اتجاه الانود.

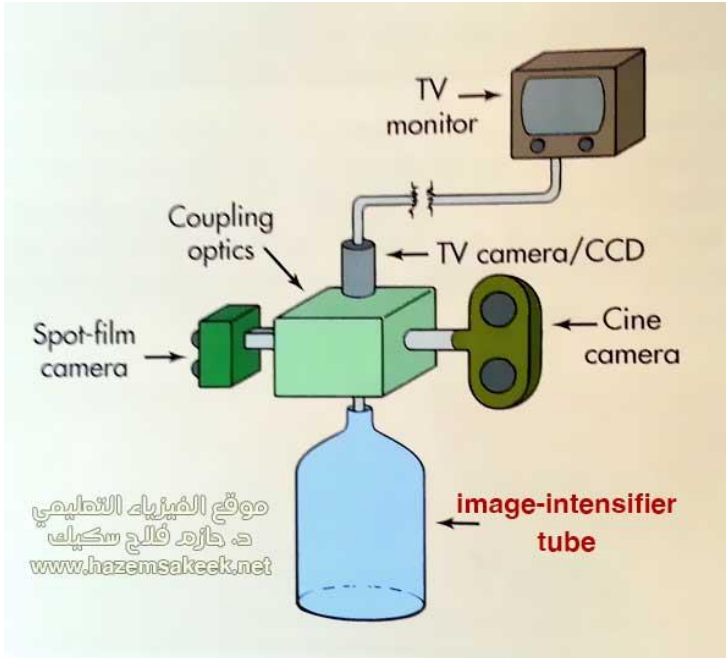
الانود عبارة عن قرص دائري به فتحة في وسطه تمر عبرها الالكترونات حتى تصل إلى طبقة الفوسفور الخارجية output phosphor، وتصنع هذه الطبقة من كبريتيد الزنك والكاديوم وهنا عندما تصطدم الالكترونات المعجلة في هذه الطبقة ينتج عنها ضوء مرئي.



الشكل 4 كل شعاع اكس يتفاعل مع فوسفور الادخال ينتج في النهاية فوتونات ضوئية عند فوسفور الإخراج.



تجدر الإشارة الى استخدام عدسات كهروستاتيكية لتركيز الالكترونات المسرعة، وهذه العدسات الكهروستاتيكية مثبتة على امتداد انبوبة زيادة شدة اضاءة الصورة. هذه الالكترونات المسرعة والمتجمعة بواسطة العدسات تحمل تفاصيل الصورة المتكونة على فوسفور الادخال وعندما تصطدم بفوسفور الإخراج فانها تعطي فوتونات ضوئية، وكل الكترون يصل إلى فوسفور الإخراج ينتج ما يقارب 50 إلى 75 فوتون ضوئي. في الشكل 4 مخطط يوضح مراحل تفاعل اشعة اكس مع انبوبة زيادة شدة اضاءة الصورة. نسبة عدد الفوتونات الضوئية الناتجة عند فوسفور الإخراج إلى عدد فوتونات اشعة اكس عند فوسفور الادخال يعرف باسم فيض الحصيللة flux gain.



الشكل 5 المراقبة التلفزيونية للفلوروسكوبي



لعرض الصور الديناميكية للفلوروسكوبي على شاشة تلفزيونية يتم استخدام كاميرا تثبت عند طبقة فوسفور الإخراج تعرف هذه الكاميرا باسم كاميرا الفيديكون vidicon وهي موضحة في الشكل 6 تمتلك هذه الكاميرا سطح حساس له نفس قطر طبقة فوسفور الإخراج لانبوبة زيادة شدة اضاءة الصورة. تقوم الكاميرا بتحويل الصورة الضوئية من فوسفور الإخراج إلى إشارة كهربائية ترسل إلى جهاز تلفزيون الفلوروسكوبي. ويعتبر نظام المراقبة التلفزيونية ميزة في نظام التصوير الفلوروسكوبي حيث يمكن التحكم في مستوى الإضاءة والتباين للتلفزيون وكذلك يمكن لاكثر من طيبب مشاهدة ما يحدث اثناء التصوير الفلوروسكوبي.



الشكل 6 كاميرا الفيديكون Vidicon camera

كما يمكن تثبيت شاشة المراقبة التلفزيونية خارج غرفة التصوير. كما تسمح بتخزين الصورة على أي من وسائط التخزين الالكترونية لعرض التسجيل مرة أخرى ان تطلب الامر.

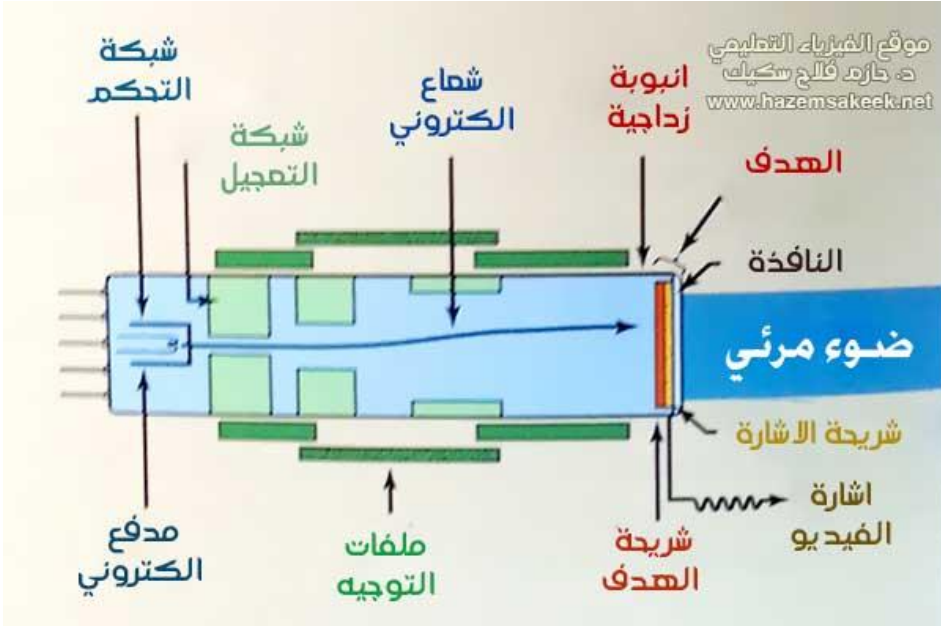


تتكون كاميرا الفيديكون على انبوبة اسطوانية قطرها 15 mm وطولها 25 cm وبداخلها في داخلها على ملفات كهرومغناطيسية تستخدم لتحريك الشعاع الالكتروني داخل الكاميرا.

يوضح الشكل 7 مخطط لاجزاء كاميرا الفيديكون حيث يظهر الغطاء الزجاجي الذي يحافظ على اجزاء الكاميرا الداخلية مفرغة من الهواء، وتحتوي الكاميرا على الكاثود المكون من مدفع الكتروني يليه شبكات كهروستاتيكية وعلى الطرف المقابل الهدف الي يقوم بوظيفة الانود.

يتكون المدفع الالكتروني من فتيلة ساخنة تعطي تيارا ثابتا من الالكترونات تنطلق تحت تأثير الاثارة الحرارية. تقوم الشبكات الكهروستاتيكية بتجميع الالكترونات المنبعثة في صورة شعاع الكتروني وتقوم الشبكات الكهروستاتيكية أيضا بتعجيل الالكترونات في اتجاه الانود. يتم تحريك الشعاع الالكتروني بواسطة ملفات كهرومغناطيسية تعرف باسم ملفات الانحراف وملفات التوجيه





الشكل 7 كاميرا الفيديكون واجزائها الداخلية

عندما تصل الالكترونات إلى الانود فانها تعبر من خلال شبكة وتتفاعل مع الهدف. يتكون الهدف من ثلاثة طبقات ملتصقة مع بعضها البعض. الطبقة الخارجية للهدف عبارة عن النافذة وهي طبقة الغلاف الزجاجية وعلى الجانب الداخلي للطبقة الزجاجية طبقة رقيقة من المعدن او الجرافيت تعرف باسم طبقة الإشارة signal plate. تصمم طبقة الإشارة بسلك يسمح للضوء بالمرور عبرها وبسلك كافي يمكنها من توصيل الكهرباء بكفاءة عالية. وسميت بهذا الاسم لانها الطبقة التي تخرج منها إشارة الفيديو الى دائرة التلفزيون.

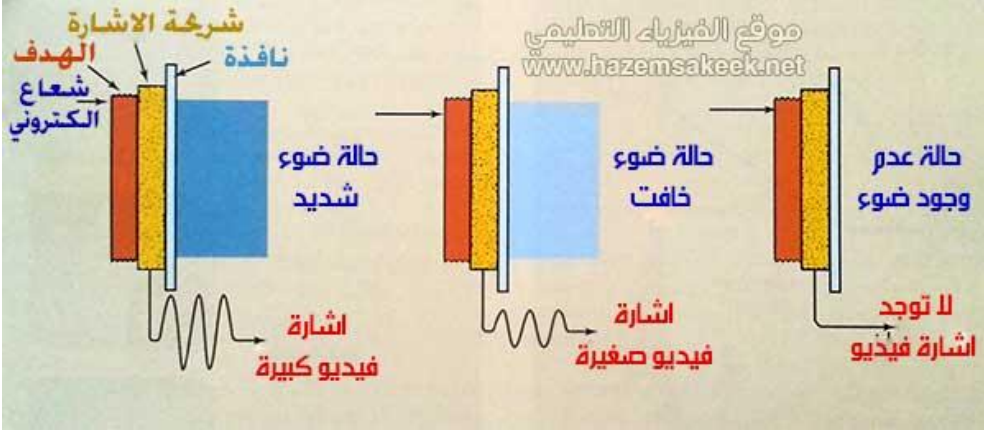
الطبقة الثالثة هي طبقة ذات خاصية التوصيل الضوئي photoconductive (أي من مادة عازلة وتصبح موصلة للكهرباء عند تعرضها للضوء) وهي عبارة عن طبقة من



ثالث كبريتيد الأنثيمون تثبت هذه طبقة الإشارة. يتم مسح هذه الطبقة بواسطة الشعاع الالكتروني الصادر من كاثود الكاميرا.

الان عندما يسقط الضوء الناتج عن فوسفور الإخراج في انبوبة زيادة شدة اضاءة الصورة على الانود فانه يعبر من النافذة الى طبقة الإشارة يسقط في النهاية على طبقة التوصيل الضوئي والتي يمسخها من الجانب المقابل الشعاع الالكتروني فاذا سقط عليها ضوء فانها تمرر الشعاع الالكتروني إلى طبقة الإشارة في صورة إشارة كهربية واذا لم يسقط عليها ضوء فانها تصبح عازلة ولا ينتج عنها إشارة وتجدد الإشارة هنا الى ان موصلية هذه الطبقة يعتمد على كمية الضوء الساقط عليها وبالتالي فان الإشارة الكهربائية المتولدة في طبقة الإشارة يتناسب طرديا مع شدة الضوء الساقط عليها. الشكل 8 ويوضح ما يحدث عند انود كاميرا الفيديكون.

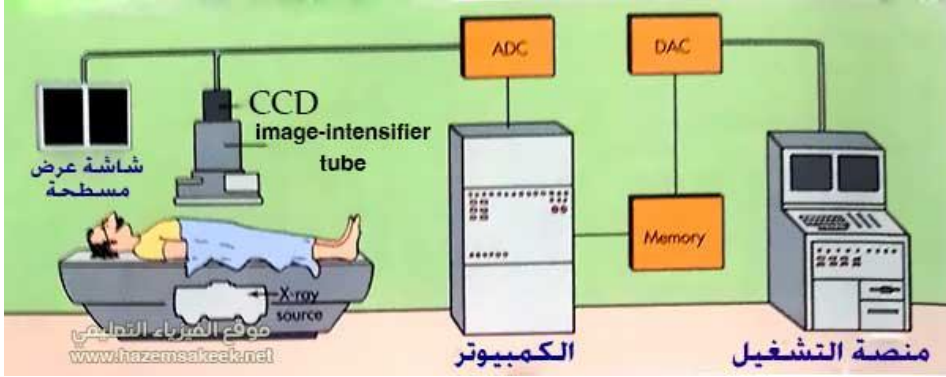
توصل الإشارة الكهربائية (إشارة الفيديو) في جهاز التلفزيون كما يتم في توصيل جهاز الريسيفر في التلفزيون لاستقبال المحطات الفضائية ولكن هنا يأخذ التلفزيون اشارته من كاميرا الفيديكون والتي اخذت بياناتها من انبوبة زيادة شدة اضاءة الصورة والتي تعكس صورة المريض. فتظهر على شاشة التلفزيون ما يحدث داخل جسم المريض ليتمكن الطبيب من تشخيص المرض.



الشكل 8 الانود في كاميرا الفيديو يعمل على توصيل الالكترونات التي تشكل الإشارة التلفزيونية عند سقوط الضوء عليه

الانتقال من الفلوروسكوبي التقليدي إلى الفلوروسكوبي الرقمي Digital fluoroscopy

ينتج عن الفلوروسكوبي التقليدي صور ظل لاشعة اكس النافذة من جسم المريض وتظهر هذه الصور على شاشة التلفزيون. في العام 1970 طورت مجموعة من الفيزيائيين الطبيين في جامعة ويسكونسين وجامعة اريزونا تقنية التصوير الفلوروسكوبي ليصبح رقميا من خلال إضافة الكمبيوتر بين كاميرا الفيديو وشاشة التلفزيون كما هو وضح في الشكل 9. هذا التطور أضاف الكثير من المزايا لتقنية الفلوروسكوبي حيث يمكن اجراء العديد من التعديلات على الصور لتحسين وضوحها وزيادة تباينها.



الشكل 9 مكونات نظام الفلوروسكوبي الرقمي

### الحصول على الصورة رقمياً باستخدام شريحة CCD ( Charge-Coupled Device )

التحول الرئيسي للانتقال من الفلوروسكوبي التقليدي إلى الفلوروسكوبي الرقمي اعتمد على استخدام شريحة CCD والتي تعرف باسم ( Charge-Coupled Device ) وهي نفس الشريحة المستخدمة في الكاميرات الرقمية وكاميرات الجوالات والمستخدمه كعين للروبوتات. تثبت شريحة CCD بدلا عن كاميرا الفيديو على فوسفور الإخراج في انبوبة زيادة شدة الإضاءة image-intensifier tube. وهنا تقوم شريحة CCD بالتقاط الصورة الضوئية المتكونة على طبقة فوسفور الإخراج وتحويلها إشارات كهربية رقمية تخزن في ذاكرة الكمبيوتر وعرضها على شاشته. وعادة تستخدم حزمة من الالياف البصرية لنقل الإشارة الضوئية من طبقة فوسفور الإخراج إلى شريحة CCD كما هو موضح في الشكل 10.



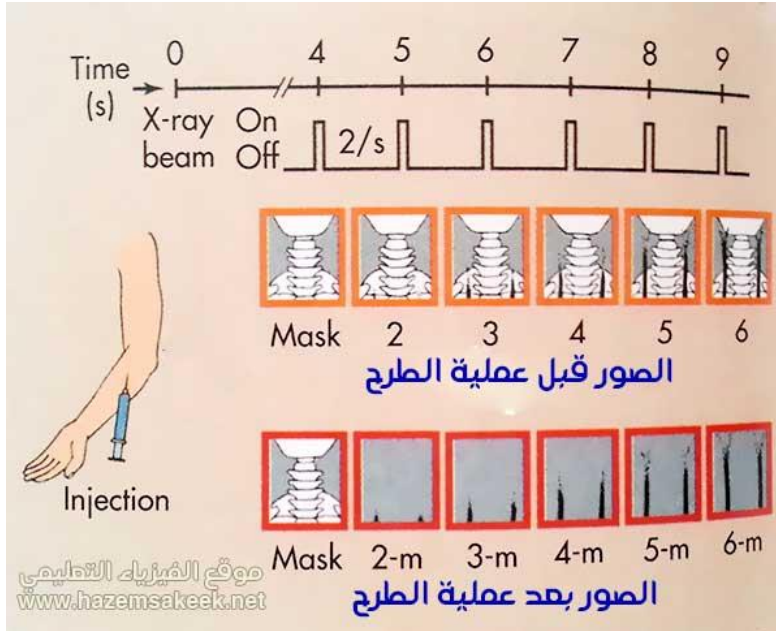
الشكل 10 طريقة ربط الصورة المتكونة على طبقة فوسفور الإخراج في انبوبة زيادة شدة الإضاءة مع شريحة CCD من خلال حزمة الالياف البصرية.

### تقنيات التصوير الفلوروسكوبي الرقمي

ادخال تقنيات الكمبيوتر في التصوير جعل بالإمكان الحصول على صور أكثر وضوحاً وأكثر دقة وأكثر تبايناً وأكثر حدة من التصوير الفلوروسكوبي التقليدي من خلال الاعتماد على تقنيات طرح الصور من بعض حيث يتم اخذ صورة للمريض قبل ادخال مادة التباين ثم اخذ مجموعة من الصور خلال فترات زمنية قصيرة وطرح الصور الجديدة من الصورة الأولى لنحصل على صور واضحة للعضو المراد تشخيصه. الشكل 11 يوضح الية عمل تقنية التصوير الفلوروسكوبي الرقمي حيث يتم حقن المريض بمادة التباين ثم يتم تشغيل جهاز اشعة اكس الذي يعمل في هذه



الحالة في صورة نبضية أي تنطلق اشعة اكس في صورة نبضات وكل نبضة تعطي صورة تحتزن في ذاكرة الكمبيوتر وتعتبر الصورة الأولى هي القناع ويتم طرح الصور التالية من صورة القناع حتى يظهر على الشاشة الفرق فقط



الشكل 11 استخدام قناع الصورة لعملية طرح الصور لظهور الصور التي تحمل معلومات عن تدفق مادة التباين في جسم المريض.

تعزز عملية الطرح التي تتم بواسطة الكمبيوتر تباين الصورة لان جسم الانسان يحتوي على الكثير من الانسجة والأعضاء والاوردة والعظام وفي التصوير الفلوروسكوبي التقليدي كانت الصور باهتة ويصعب الحصول على تفاصيل دقيقة بسبب اختفاء العضو المراد تصويره بين الأعضاء الأخرى كما في الشكل 12، لكن هذه المشكلة اختفت في تقنية التصوير الفلوروسكوبي الرقمي حيث نحصل فقط



بعملية الطرح على صورة للعضو الذي حقن بمادة التباين ويستطيع الطبيب اجراء تشخيص ديناميكي للمريض معتمدا على مشاهدة سريان مادة التباين في الجسم.



الشكل 12 الصورة على اليسار هي صورة فلوروسكوبي قبل عملية الطرح وعلى اليمين بعد اجراء عملية الطرح ونلاحظ دقة وضوح الصورة ومدى التباين فيها.

#### الخلاصة:

نلاحظ مدى دقة هذا الجهاز من حيث اجزائه المتعددة والتقنيات الكثيرة المستخدمة للحصول على صورة ديناميكية لما يحدث في جسم الانسان وكيف تعمل هذه الأجزاء مع بعضها البعض في تناغم دقيق لتعطي صور دقيقة وواضحة.



# الأمواج فوق الصوتية





## □ الأمواج فوق الصوتية Ultrasound



www.hazemsakeek.com

نسمع كثيرا عن استخدام الأمواج فوق الصوتية في تصوير الجنين في رحم الأم وهو في مراحل تكوينه وفي مرات أخرى نسمع عن استخدام الأمواج فوق الصوتية في تفتيت الحصى- دون إجراء العمليات الجراحية كما تستخدم الأمواج فوق الصوتية في قياس سرعة تدفق الدم في الأوردة للاطمئنان على سلامة القلب. وتعد استخدامات الأمواج فوق الصوتية في مجال الطب من الأساسيات التقنية للتشخيص دون إجراء العمليات الجراحية.

وفي هذا الجزء سنحاول إلقاء الضوء على الأمواج فوق صوتية وكيف تعمل الأجهزة الطبية المستخدمة في التشخيص المعتمدة على الأمواج فوق الصوتية.

نبذة تاريخية لتطور أجهزة الامواج فوق الصوتية الالتراساوند بدأت أول الأبحاث في الموجات الصوتية منذ عام 1822 عندما سعى عالم الفيزياء (دانييل كولادين) السويسري الأصل لحساب سرعة الصوت عن طريق جرسه المائي



في مياه بحيرة (جنيفا). والتي أدت إلى وضع (نظرية الصوت) في عام 1877 بجهود العالم لورد ريليه والتي شرحت الأساسيات الفيزيائية لموجات الصوت وانتقاله وارتداده. وتوالت الأبحاث تباعاً حتى كان تصميم أول نظام رادار صوتي والمعروف باسم (Sonar) في الولايات المتحدة عام 1914 لأغراض الملاحة البحرية ولتحديد أماكن المارينز الألماني في الحرب العالمية الأولى. ولم توظف الموجات فوق الصوتية لخدمة الأغراض الطبية حتى بداية الأربعينات على يد دكتور الأعصاب النمساوي (كارل ثودو) والذي يعتبر أول طبيب استخدم الموجات فوق الصوتية في التشخيص الطبي وقد واجه في ذلك صعوبات بسبب امتصاص عظام الجمجمة لمعظم طاقة الموجات فوق الصوتية.

وبعد حصيللة جهود مكثفة للفيزيائيين والمهندسين الميكانيكيين والكهربائيين والبيولوجيين بالتعاون مع الأطباء ومبرمجي الكمبيوتر والباحثين ودعم الحكومات ابتداء التشخيص بالموجات فوق الصوتية ليأخذ محله في عيادات الأعصاب والقلب والعيون ولتتطور الموجات من A-Mode محدودة الاستخدام إلى B-Mode والتي سعى العالم (دوغلاس هوري) كفني أشعة لاستغلالها في التشخيص لقدرتها على اختراق الأنسجة بهدف الدراسة التشريحية لأعضاء الجسم في جامعة (كولورادو) في دنفر بالتعاون مع زميله أخصائي الكلى (جوزيف هوملس) والذي بدوره تبنى الأبحاث الطبية على هذا الصعيد وقام بتوجيهها بالتعاون العلماء والمهندسين (بيلز و بوساكوني) كان أول جهاز ألتراساوند ثنائي الأبعاد يعمل بنظام B-Mode عام 1951. وتوالت الأجهزة التي تعمل في هذا النظام إلا أنها جميعاً كانت كبيرة الحجم



وعلى المريض أن ينغمس كلياً أو جزئياً في الماء في وضعية السكون لفترة زمنية طويلة الأمر الذي جعله غير عملي ويستحيل وجوده في عيادات الاختصاص.

وفي أواخر عام 1955 بدأ العالم بتطوير هذه الأجهزة لتصبح أكثر حساسية وأقل حجماً وأكثر سهولة في طريقة الفحص حتى توصلوا للذراع المعدني المتحرك والذي يوضع على المكان المخصص للفحص.

ومع الثمانينات حدثت ثورة حقيقية في عالم الموجات فوق الصوتية وهي ما يسمى (Real time scanner) أي التصوير الحي (ثنائي الأبعاد B-Mode) والذي عن طريقه تم التعرف على حياة الجنين الفعلية وحركاته وتصرفاته ونبضات القلب والتنفس في رحم الأم. وكان أول جهاز فعال في هذا المجال عام 1985 في ألمانيا وكانت الثمانينات هي ميدان التنافس للشركات المصنعة لأجهزة الالتراساوند لتقديم أدق الصور وأوضحها. وهكذا اتضحت معالم علم جديد في تخصص النسائية والتوليد (تشخيص وسلامة الجنين).

وبعد هذه المراحل العريقة في تاريخ الموجات فوق الصوتية وبعد ثورات العلم المتأججة على كل صعيد ومتطلبات العصر- المتجددة غدت أجهزة الالتراساوند الثنائية الأبعاد غير مرضية- بالرغم من كل النجاح الذي حققته- وتوجه العلماء نحو البعد الثالث للحصول على صور حية مجسمة لما يحدث في جسم الإنسان. وفي اليابان في جامعة طوكيو كان أول تقرير حول نظام الأبعاد الثلاثية (الطول العرض العمق أو الارتفاع) عام 1984 وأول محاولة ناجحة في الحصول على صورة جنين



ثلاثية الأبعاد من صورة ثنائية الأبعاد عن طريق الكمبيوتر كانت عام 1986.

وبعد تطوير أجهزة التراساوند مستقلة ثلاثية الأبعاد كانت المشكلة في الفترة الزمنية التي يستغرقها التقاط كل مقطع حيث تتجاوز العشر دقائق وهو ما يستحيل معه العمل سواء للطبيب المعالج أو المريض وبالتالي يستحيل معه التسويق. ومع الجهود المكثفة والتطوير المستمر كان أول جهاز التراساوند ثلاثي الأبعاد يأخذ محلاً تجارياً في الأسواق في عام 1989 في النمسا واستمر العالم وخصوصاً في اليابان والنمسا وبريطانيا وكندا وحتى الصين في دفع عجلة التطور هذه حتى بدأت الأبحاث حول رباعي الأبعاد في لندن عام 1996 عندما بزغت فكرة التصوير ثلاثي الأبعاد الحي وليكون للبعد الرابع وهو البعد الزمني دوره في إعطاء صورة حقيقية حية بأسلوب عملي أو ما كان ذلك ليكون لولا التطورات الهائلة في علم الكمبيوتر والسرعة الهائلة في إجراء العمليات الحاسوبية ومن هنا كانت قصة البداية.

### ماهي الامواج فوق الصوتية الالتراساوند ؟

الامواج فوق الصوتية الالتراساوند هي تكنولوجيا تستخدم الامواج فوق الصوتية في التصوير الطبي وتستخدم امواج صوتية ذات ترددات اكبر 20 كيلو هرتز أي اكبر من الترددات التي تسمعها أذن الإنسان وتعتمد فكرة عمل تلك الأجهزة الطبية على الأمواج الفوق صوتية التي تسقط على الجسم وتنعكس عنه مثل ما يقوم الخفافش الذي يطير في الليل مستعينا بالأمواج فوق الصوتية التي يحدثها لتسقط على



الأجسام أمامه وتنعكس عنها ويسمعا فيحدد مساره دون الحاجة إلى حاسة الإبصار ليستدل على الطريق ولذلك يستطيع الطيران في الليل. كما تستخدم الحيتان في البحر الأمواج فوق الصوتية وتستخدمها الغواصات البحرية كجهاز رادار يعمل في أعماق المحيطات لكشف الغواصات المعادية. وتعتمد فكرة استخدام الأمواج فوق الصوتية على الأحداث التالية:

1. يرسل جهاز الأمواج فوق الصوتية أمواج صوتية بترددات صوتية عالية تتراوح بين 1 إلى 5 ميغاهيرتز على صورة نبضات توجه إلى جسم الإنسان من خلال مجس خاص.
2. تخترق الأمواج فوق الصوتية جسم الإنسان لتصطدم بالفواصل والحدود الموجودة بين مكونات الجسم المختلفة مثل السوائل الموجودة بين طبقات الجلد الحد بين طبقة الجلد والعظم.
3. جزء من الأمواج فوق الصوتية تنعكس عن الحدود الفاصلة بين مكونات جسم الإنسان وتعود إلى المجس بينما تستمر باقي الأمواج فوق الصوتية لتخترق طبقات أعمق في جسم الإنسان لتصل إلى حدود فاصلة أخرى وتنعكس عنها وترتد إلى المجس.
4. يلتقط المجس الأمواج فوق الصوتية المنعكسة تبعاً عن طبقات جسم الإنسان التي اخترقها ويغذي فيها جهاز الأمواج فوق الصوتية.



5. يقوم جهاز الأمواج فوق الصوتية بحساب المسافة بين المجس وطبقة الجلد أو العضو الذي انعكست عنه الأمواج فوق صوتية مستخدماً سرعة تلك الأمواج في جسم الإنسان والتي تبلغ 1540m/s ومستخدمًا الزمن اللازم لعودة الموجات فوق الصوتية للمجس والتي تكون في حدود الميكوثانية أي  $10^{-6}$ sec.

6. يظهر جهاز الأمواج فوق الصوتية العلاقة بين المسافة وشدة الإشارة المنعكسة من جسم الإنسان لتكون توزيع ثنائي الأبعاد للمسافة والشدة والتي تعبر عن الصورة التي نشاهدها على جهاز الأمواج فوق الصوتية والموضحة في الشكل التالي:



صورة أمواج فوق صوتية لجنين في الأسبوع الثاني عشر ويظهر على اليمين الرأس ومن العنق وباقي الجسم إلى اليسار.





في أي جلسة للتصوير باستخدام جهاز الأمواج فوق الصوتية فإن ملايين النبضات الصوتية التي ترسل للجسم وتستقبل مرة أخرى لتحلل وتحسب المسافة القادمة منها تلك الأمواج لتعطي الصورة التي نراها، كما ان تحريك المجس من مكان لآخر يمكن ان يعطي صور من منظور مختلف.

### مكونات جهاز الامواج فوق الصوتية

تتكون أجهزة الأمواج فوق الصوتية من الأجزاء الرئيسية التالية:

1. المجس.
2. وحدة التحكم المركزية.
3. وحدة التحكم بالنبضات.
4. شاشة العرض.
5. لوحة المفاتيح والماوس.
6. وحدة تخزين.
7. طابعة.

### المجس Transducer Probe

يعتبر المجس المستخدم في أجهزة الأمواج فوق الصوتية هو الجزء الرئيسي- للجهاز. ووظيفة المجس تكمن في إصدار الأمواج الصوتية ورصد الصدى المرتد عن انعكاسها. ويمكن تشبيهه بالفم الذي يتحدث والأذن التي تسمع لجهاز الأمواج فوق الصوتية. وتعتمد فكرة عمل المجس على ظاهرة فيزيائية مهمة هي البيزووالكترك piezoelectric effect والتي تعني ظاهرة الضغط لتوليد الكهرباء



والتي اكتشفها العالم بير وكيوري Pierre and Jacques Curie في عام 1880. وهي عبارة عن بلورة كوارتز عند تطبيق تيار كهربائي على بلورة الكوارتز فإن البلورة يتغير شكلها بسرعة في صورة اهتزازات سريعة جداً تصدر أمواج صوتية. والعكس يحدث عندما تصطدم أمواج صوتية تؤدي البلورة للاهتزاز فإن تيار كهربي يتولد عنها. وبهذا يمكن استخدام نفس بلورة الكوارتز لإصدار الأمواج فوق الصوتية واستقبالها، مع تزويد المجس بمادة تمتص الصوت حتى لا يحدث تشويش بين الصوت الصادر والصوت المنعكس.



كذلك يزود المجس بعدسة صوتية acoustic lens لتركيز الأمواج الصوتية الصادرة من المجس.

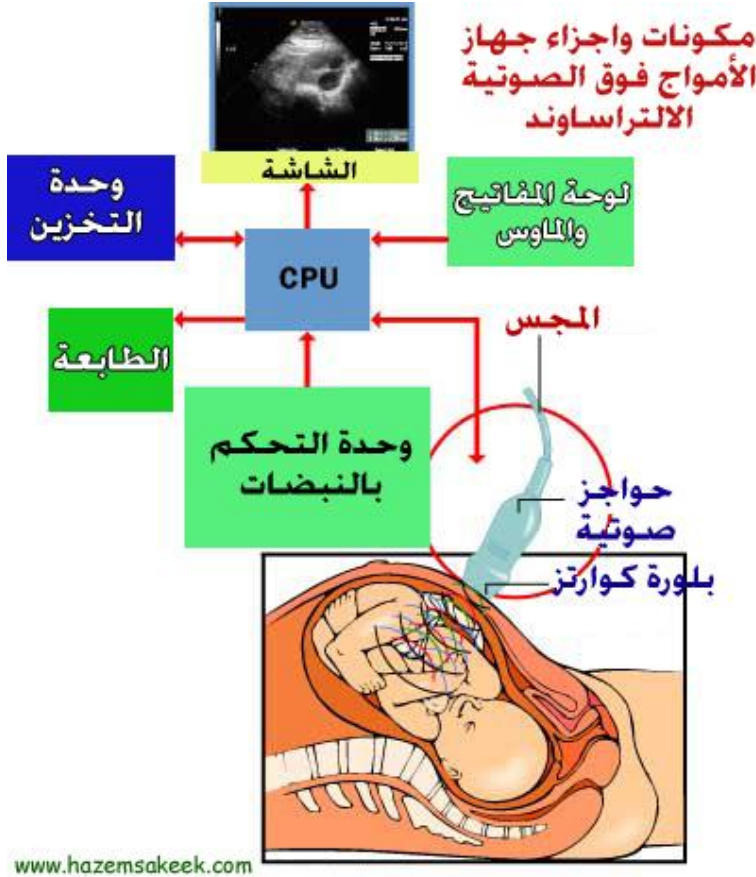
يتم تصنيع هذه المجسات لتأخذ أشكالاً وأحجاماً مختلفة لتستخدم حسب المنطقة المراد تصويرها بجهاز الأمواج فوق الصوتية وكل مجس يصدر تردد مختلف من الأمواج فوق الصوتية لتحديد العمق الذي يجب ان تخترقه هذه الأمواج داخل جسم

جهاز أمواج فوق صوتية ومعه  
عدة أنواع من المجسات  
المستخدمة

الإنسان للحصول على الصورة المطلوبة وبدقة عالية. ويمكن ان تحتوي المجسات على أكثر من بلورة كوارتز وكل بلورة كوارتز يجب ان يكون لها دائرتها الكهربائية المنفصلة، ويستخدم هذا النوع من المجسات المزودة بأكثر من بلورة للتحكم في



الفارق الزمني للأمواج الصوتية الصادرة عن كل بلورة والذي يساعد على تحريك الأمواج فوق صوتية داخل الجسم.



شكل يوضح أجزاء جهاز التصوير باستخدام الأمواج فوق الصوتية

### وحدة التحكم المركزية (CPU) Central Processing Unit

وتمثل هذه الوحدة عقل الجهاز وهو عبارة عن جهاز كمبيوتر متصل بالمجس ويزوده بالطاقة الكهربائية. وتقوم وحدة التحكم المركزية بإرسال التيار الكهربائي



للمجس ليصدر الأمواج فوق صوتية وكذلك يستقبل النبضات الكهربية الناتجة من المجس عند استقبالها للأمواج فوق الصوتية المرتدة عن أجزاء الجسم المراد تصويره. وتقوم وحدة المعالجة المركزية بكافة الحسابات التي تمكن من رسم العلاقة بين المسافة وشدة الأشعة المرتدة لتكوين الصورة على الشاشة.

### وحدة التحكم بالنبضات Transducer Pulse Controls

وهي توفر الإمكانية للطبيب الذي يشغل الجهاز أو الفني المختص بإدخال قيمة التردد وزمن النبضات الصوتية الصادرة من المجس والتي يجب تحديدها مسبقا حسب العضو المراد تصويره. وكذلك تقوم هذه الوحدة بالتحكم بآلية المسح المستخدمة بواسطة الجهاز لإظهار الصورة.

### الشاشة Display

وهي عبارة عن شاشة عرض عادية كالمستخدمة في الكمبيوتر والتي تظهر نتيجة الحسابات التي قامت بها وحدة المعالجة المركزية ويمكن ان تكون شاشة ابيض واسود أو شاشة ملونة حسب نوع ومواصفات جهاز الأمواج فوق الصوتية.

### لوحة المفاتيح والماوس Keyboard/Cursor

وهي الأدوات التي يستخدمها الطبيب أو الفني المختص لتشغيل برنامج الجهاز وإجراء عمليات حفظ الصورة على ملف وعمل بعض القياسات لحساب الأبعاد مستعينا بالصورة الظاهرة على الشاشة.



## وحدة الحفظ Disk Storage

وحدة الحفظ تستخدم لحفظ الصور التي ظهرت على الشاشة ووسائط الحفظ هي نفسها المستخدمة في الكمبيوتر وتشمل الأقراص الصلبة hard disks أو الأقراص المرنة floppy disks أو الأقراص المدجة CD أو DVD. وتستخدم لعمل أرشيف طبي يحفظ لتتبع حالة المريض في مرات أخرى.

## الطابعة Printers

وفي الأغلب طابعات كمبيوتر ولكن من النوع الحراري المعروف باسم الطابعات الحرارية

## انواع اجهزة الامواج فوق الصوتية

الأجهزة التي تحدثنا عنها حتى الآن هي أجهزة للتصوير ثنائي الأبعاد ولكن هناك نوعان من الأجهزة التي تستخدم نفس التقنيات وهي أجهزة التصوير ثلاثية الأبعاد وأجهزة دبلر للأمواج فوق الصوتية.

## اجهزة التصوير ثلاثية الابعاد 3D Ultrasound Imaging

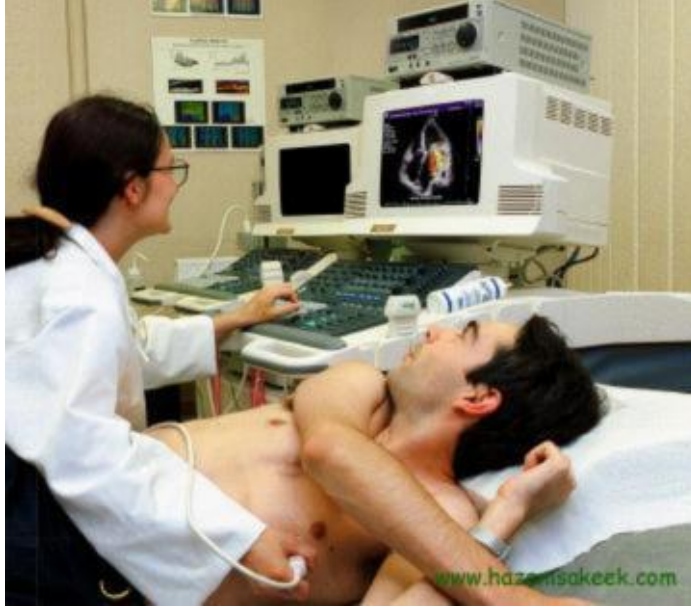
وتعتمد فكرة هذا الجهاز للحصول على صور مجسمة ثلاثية الأبعاد لأعضاء الداخلية في جسم الإنسان أو للجنين من خلال تمرير المجس فوق الجسم أو إدارته المجس حول الجسم لأخذ عدة صور ويقوم الكمبيوتر بتكوين الصور المجسمة منها.



صور ثلاثية الأبعاد باستخدام التقنيات الحديثة للتصوير بالأمواج فوق الصوتية.

### أجهزة دبلر للامواج فوق الصوتية Doppler Ultrasound

وهي أجهزة تستخدم ظاهرة دبلر وفكرتها ان الأمواج فوق صوتية المنعكسة عن الأعضاء المتحركة يحدث تغيير في التردد بين الأمواج فوق صوتية المرتدة والأمواج فوق صوتية الساقطة على الجسم. ومن فارق التردد بين الموجات المرتدة والصادرة يمكن حساب سرعة هذه الأعضاء بدقة مثل حساب سرعة تدفق الدم من القلب وإلى الأوعية الدموية والشرايين.



استخدام جهاز دبلر للأمواج فوق الصوتية لقياس سرعة تدفق الدم خلال القلب

### مخاطر استخدام الامواج فوق الصوتية

بالرغم من انه لم تسجل آيه حالات مرضية في كلا من الإنسان أو الحيوان الذي تعرض لفحوصات بواسطة الأمواج فوق الصوتية وان هذه الأجهزة ستبقى مستخدمة كأحد وسائل التشخيص بدون إجراء جراحة أو استخدام مواد مشعة تحقن في المريض إلا انه ينصح باستخدامها كلما دعت الضرورة فقط. وذلك تفاديا لتعريض أجزاء من جسم الإنسان للطاقة الصوتية الناتجة عن الأمواج فوق الصوتية والتي تمتص بسهولة في الماء الموجود في الأنسجة الحية مما يسبب ارتفاع موضعي في درجة الحرارة للمناطق المعرضة للأمواج فوق الصوتية.



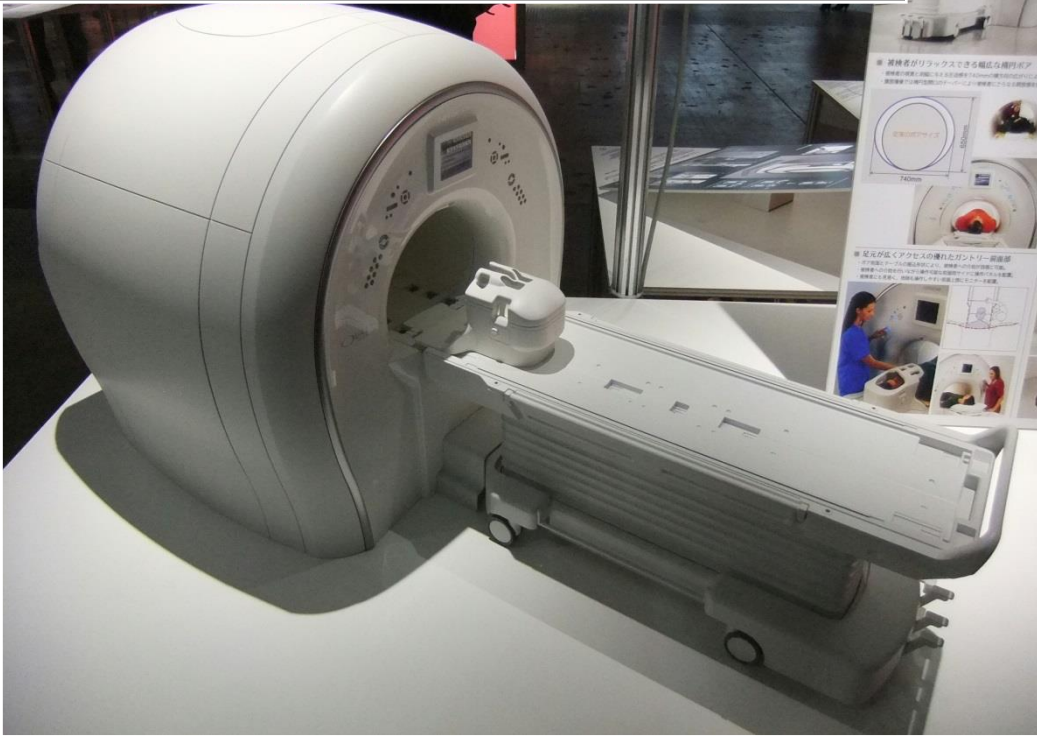


## التطورات والمستقبل

كلما تطورت أجهزة الكمبيوتر كلما تطورت أجهزة الأمواج فوق الصوتية من ناحية السرعة والقدرة التخزينية للمعلومات. كما جاري العمل على تطوير التصوير ثلاثي الأبعاد باستخدام الأمواج فوق الصوتية وإنتاج أجهزة صغيرة الحجم.

أما التطور الأغرّب والمشوق هو تحويل الصور المأخوذة من جهاز الأمواج فوق الصوتية وتغذيتها لخوذة يضعها الطبيب على رأسه لتبني مجسم وهمي للإنسان الذي يتم تصويره تمكن الطبيب من فحص الأجزاء الداخلية لجسم الإنسان.

# التصوير بالرنين المغناطيسي





## التصوير بالرنين المغناطيسي

### Magnetic Resonance Imaging (MRI)



جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي هو جهاز تصوير مثل جهاز أشعة اكس أو جهاز CT ولكن يستخدم المجال المغناطيسي وأمواج الراديو للحصول على الصور دقيقة وتفصيلية وثلاثية الأبعاد تمكن الطبيب من رؤية الأجزاء الداخلية لجسم الإنسان من عظام ومفاصل والدم وخصوصا الأنسجة الرقيقة مثل الدماغ بدون استخدام لأشعة اكس أو الحقن بالأصبغ لتعزيز التباين، ومن خلاله يمكن اكتشاف التغيرات التي قد تطرأ على بعض أعضاء الجسم نتيجة لمرض ما وذلك بالمقارنة مع الأعضاء السليمة. وقد جاء اكتشاف هذا الجهاز في الثالث من يوليو عام 1977، حيث اعتبر



حدثاً مذهلاً في عالم الطب الحديث. حيث في ذلك التاريخ تم إجراء أول فحص باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي وقد استغرقت عملية التصوير أكثر من 5 ساعات ولم تكن تلك الصورة واضحة المقارنة بتلك التي نحصل عليها في أيامنا هذه. ويرجع التطور في تكنولوجيا التصوير بالرنين المغناطيسي إلى جهود سبع سنوات للعلماء ريموند دامادين ولاري مانكوف ومايكل جولدميث. وقد أطلقوا على هذا الجهاز اسم Indomitable في بداية الأمر والذي يعني القوي للدلالة على الجهود المضنية التي بذلوها على مدار السبع سنوات من العمل والبحث لجعل جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي حقيقة بعد ان كان مجرد فكرة.

التصوير بالرنين المغناطيسي- هي تكنولوجيا معقدة وتعرف باسم MRI وهي اختصار للجملة Magnetic Resonance Imaging والتي في الحقيقة تعتمد على الظاهرة الفيزيائية المعروفة بالرنين المغناطيسي النووي والتي من الأجدر ان يكون اسم الجهاز الرنين المغناطيسي النووي ويختصر NMRI ولكن نظراً للواقع الكلمة النووي على المريض أو المستمع فإن العلماء فضلوا الاكتفاء بالاسم MRI، وفي هذه المقالة سوف نتعرف على فكرة عمل هذا الجهاز المتطور وماذا يحدث لجسم الإنسان عندما يوجد في داخل هذا الجهاز؟ وماذا نرى بواسطته؟ ولماذا يجب على الشخص ان يبقى ساكناً طوال وقت مكوثه داخل الجهاز أثناء الفحص؟ هذه الأسئلة وغيرها الكثير سنحاول الإجابة عنها في هذا الموضوع.



## الفكرة والاساس

يبلغ طول جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) 3 أمتار وطوله 2 متر وارتفاعه 2 متر كما يحتوي على أنبوبة أفقية تمتد خلال مغناطيس، يستلقي المريض على ظهره على سرير خاص يمر ببطء من خلال الأنبوبة داخل المغناطيس. وليس بالضروري ان يتم إدخال جسم المريض بالكامل داخل التجويف المغناطيسي وإنما يعتمد ذلك على نوع الفحص المطلوب، وتختلف أجهزة MRI بالحجم والشكل حسب الجزء من الجسم المراد فحصه وتصويره حيث يتطلب وجود ذلك الجزء من الجسم في مركز التجويف المغناطيسي.

بالإضافة إلى وجود المغناطيس والذي ستتعرف لاحقاً على دوره في جهاز MRI فإن مصدراً لأمواج الراديو يستخدم كمصدر لتوليد نبضات من الطاقة. يقوم جهاز MRI بتصوير أدق التفاصيل في داخل جسم المريض بدقة نصف مليمتر ليكون صور ثنائية الأبعاد أو ثلاثية الأبعاد.

جهاز MRI يمكن الطبيب مشاهدة وفحص داخل جسم الإنسان بدقة عالية بالمقارنة بأجهزة التصوير الطبية المعروفة الأخرى. حيث انه لا يترك أي تفاصيل إلا ووفرها وبالتالي لا حاجة لاستخدام أجهزة تصوير أخرى إذا حصلنا على صورة بجهاز MRI كما أنه بتعديل بعض العوامل أثناء الفحص فإن جهاز MRI يسبب تغير في جلد الإنسان مما ينتج عنه صور مختلفة تمكن الطبيب من استنتاج ما إذا كان ذلك طبيعياً أو غير ذلك. كما يمكن ان يتم تصوير تدفق الدم في كل جسم الإنسان حتى في أدق الشعيرات الدموية مما يسمح بانجاز الدراسات على أنظمة وأجهزة



الإنسان الرئيسية كما تدل الإشارة إلى انه ليس بالضرورة حقن المريض بمادة التباين التي تستخدم في أجهزة التصوير الأخرى.

## المجال المغناطيسي

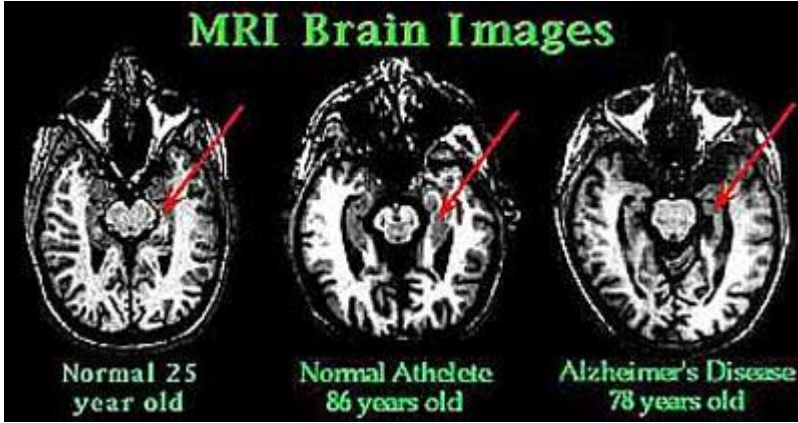
لمعرفة كيف يعمل جهاز MRI يجب ان نركز أولاً على المجال المغناطيسي- المستخدم في الجهاز والذي يحتوي اسمه على كلمة مغناطيسي-، فمصدر المجال المغناطيسي- والذي سنتحدث عنه بعد قليل هو العنصر الرئيسي للجهاز ويشكل اكبر جزء فيه تركيبه. وتصل شدة المجال المغناطيسي المستخدم في الجهاز ما يزيد عن 2 تسلا، والتسلا هي وحدة قياس شدة المجال المغناطيسي- والتي تساوي 10000 جاوس وللمعرفة تبلغ شدة المجال المغناطيسي للأرض 0.5 جاوس وهذا دلالة على ضخامة المجال المغناطيسي المستخدم في جهاز MRI.

ونظراً لارتفاع شدة المجال المغناطيسي- المستخدم في جهاز MRI فإن الكثير من الاحتياطات التي يجب أخذها في عين الاعتبار قبل تشغيل الجهاز فهذا المجال قادراً على جذب القطع الحديدية مثل الدبابيس والمفاتيح والأقلام وأدوات الطبيب الحديدية مثل المقص والمشرط وغيره من الأدوات الصغيرة مما تجعلها تندفع في اتجاه المجال المغناطيسي بقوة كبيرة مثل الرصاصة في اتجاه التجويف المغناطيسي- حيث يفترض وجود المريض المراد تصويره وإذا اصطدمت تلك الأشياء بأحد فإنها وبلا شك ستؤذي، كما ان هذا المجال سيفسد بطاقات الائتمان وأقراص الكمبيوتر



المغناطيسية ويمحي كل البيانات التي عليها.

ولذلك قبل إدخال المريض والمختصين إلى غرفة الجهاز فإنه يتم إجراء فحص دقيق للتخلص من الأشياء المعدنية التي قد يحملها المريض أما الأشخاص الذين زرعت في أجسامهم قطع معدنية لتثبيت العظام فإنه يسمح لهم استخدام الجهاز لان تلك القطع أصبحت ثابتة ولا يمكن ان تتحرك تحت تأثير المجال المغناطيسي وخاصة إذا مر عليها مدة تزيد عن 6 أسابيع وإذا وجد نتيجة الفحص احتواء الجسم على أية معادن قابلة للحركة لا يسمح للمريض بالتصوير بجهاز MRI ويتم تحويله إلى وسيلة تصوير أخرى مثل CAT.



صور للدماغ باستخدام جهاز MRI لأعمار مختلفة حيث على اليسار لعمر 25 عام والوسط 86 عام واليمين 78 عام لدماغ شخص مصاب بمرض الزهايمر Alzheimer

كذلك لا يسمح للمرأة الحامل باستخدام الجهاز لأنه حتى الآن لم تجري بحوث على





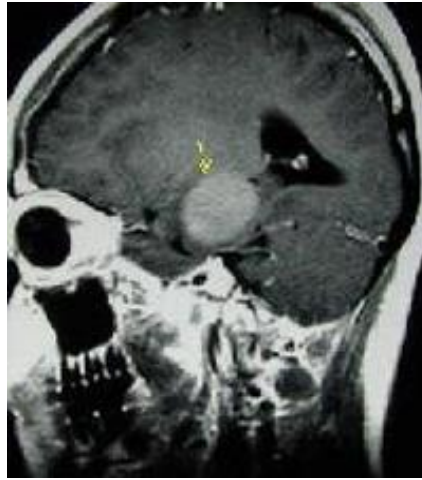
تأثير المجال المغناطيسي على الجنين ويخشى من تأثر خلايا الجنين بالمجال المغناطيسي-  
وخصوصا وإنما تكون في طور الانقسام والنمو.

## أجزاء جهاز MRI



ذكرنا في المقدمة أن المغناطيس يعد الجزء الرئيسي- للجهاز وبه تجويف لإدخال المريض داخله كما يتضح في الصورة وهناك ثلاث أنواع من المغنطيسات التي يمكن استخدامها في أجهزة

.MRI



صورة MRI لدماع شخص مصاب بالسرطان في الدماغ





## أنواع المغناطيس المستخدم

(1) المغناطيس الكهربى: ويحتوي على العديد من لفات من سلك حول اسطوانة فارغة ويمرر بالسلك تيار كهربى مما يعمل على توليد مجال مغناطيسى- طالما استمر مرور التيار الكهربى في السلك. يتميز هذا النوع من المغناطيس بقلّة تكلفته بالمقارنة بالمغناطيس المصنوع من المواد فائقة التوصيل المستخدم في النوع الثالث ولكن يحتاج هذا المغناطيس إلى تيار كهربى كبير تصل قدرته إلى 50,000 وات نظراً لمقاومته المرتفعة نسبياً وهذا يجعل تكاليف التشغيل باهظة جدا وخصوصا إذا تطلب الأمر الوصول إلى مجال مغناطيسى شدته 0.3 تسلا.

(2) المغناطيس الدائم: وهو ينتج مجال مغناطيسى- طوال الوقت مما يعنى تكلفة تشغيل قليلة ولكن المشكلة تكمن في حجم المغناطيس ووزنه والذي يصل إلى أكثر من 7 طن لتوليد مجال مغناطيسى شدته 0.4 تسلا وهذا سبب في صعوبة تصنيعه واستخدامه.

(3) المغناطيس الفائق: وهو المغناطيس المستخدم عادة في أجهزة MRI ويستخدم مواد فائقة التوصيل لعمل ملف اسطوانى حول اسطوانة كما في المغناطيس الكهربى ولكن هنا التيار الكهربى اللازم اقل كثير من السابق وذلك لان مقاومة هذه الأسلاك معدومة. وهذا النوع من الأسلاك الفائقة التوصيل تعمل عند درجات منخفضة جدا قريبة من الصفر المطلق وذلك من خلال تبريدها بسائل الهيليوم الذي تكون درجة حرارته 452.4 درجة مئوية تحت الصفر. والمريض داخل المغناطيس لن يشعر بهذه البرودة القارصة لان المغناطيس معزول ومفرغ من الهواء أيضا.

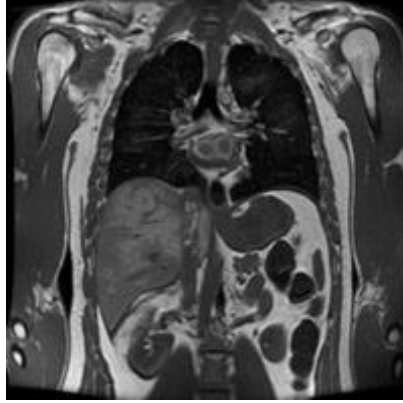


وبهذه الطريقة يمكن الوصول إلى مجال مغناطيسي بشدة 2 تسلا أو أكثر ولكن المواد فائقة التوصيل مكلفة جداً وعملية التبريد المستمر بالهيليوم السائل مكلفة أيضاً

ولكن بالرغم من التكلفة الباهظة يعتبر هذا النوع من المغنطيسات الأنسب والأفضل للوصول إلى 2 تسلا والذي يعني صور في غاية الوضوح والدقة. قد تتساءل الآن ما علاقة المجال المغناطيسي بالتصوير ووضوحه؟ وهذا ما سنجيب عنه ولكن بعد ان نكمل الشرح عن باقي أجزاء الجهاز.

المغنطيس يجعل الجهاز ثقيل جداً فالنماذج القديمة منه كان وزنها يصل إلى 8000 كيلو جرام في حين ان الأجهزة الحديثة والمطورة وصل وزنها إلى 4500 كيلو جرام والجدير بالذكر ان ثمن الجهاز يزيد عن المليون دولار.

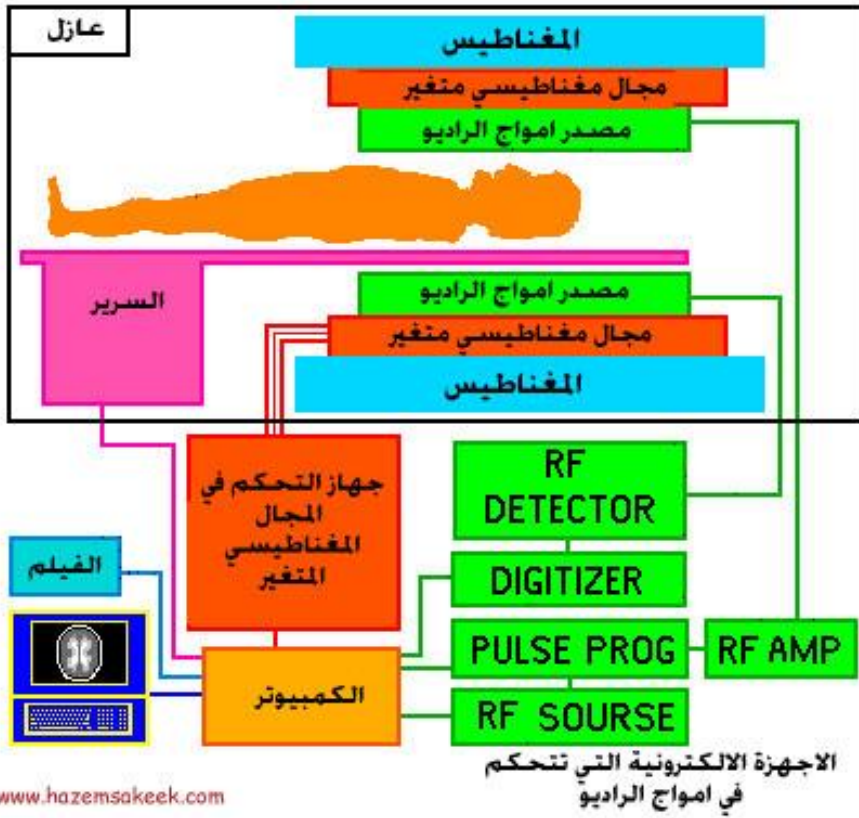
إذا الجزء الرئيسي من تركيب الجهاز هو المغنطيس الضخم الذي يولد مجالاً مغناطيسياً منتظماً. ولكن هناك نوع آخر من المغنطيس ويعتبر الجزء الثاني من تركيب الجهاز وهو مغنطيس يولد مجالاً مغناطيسياً متزايد بحيث شدته تتغير من 180 جاوس إلى 270 جاوس وهذا لا شك مجال مغناطيسي صغير جداً بالمقارنة بما تحدثنا عنه في السابق ولاحقاً سيتم شرح وظيفة ودور المجال المغناطيسي- المنتظم والمتزايد.



### صور MRI للأعضاء الداخلية لجسم الإنسان

بينما يقوم المجال المغناطيسي المنتظم بغمر كامل جسم المريض فإن المغناطيس الثاني يعمل على توليد مجال مغناطيسي متغير.

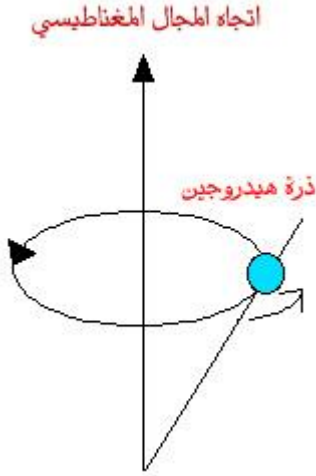
أما الجزء الثالث من تركيب الجهاز هو مولد أمواج الراديو التي تخترق جسم المريض عند إجراء التصوير. والشكل التالي يوضح الأجزاء الرئيسية لتركيب جهاز MRI والأجهزة الالكترونية المتحكمة في تشغيله.



مخطط للأجزاء الرئيسية لتركيب جهاز MRI والأجهزة الالكترونية المتحكم في تشغيله

### كيف نحصل على الصور باستخدام MRI

نعلم ان أية مادة ومنها جسم الإنسان يتكون من بلايين الذرات المختلفة، ونواة هذه الذرات تتحرك حركة دورانية حول محور كما في الشكل الموضح أدناه حيث تشكل هذه الحركة شكل مخروط حول محور الدوران.



شكل يوضح ذرة  
الهيدروجين في حركة  
دورانية حول المجال  
المغناطيسي

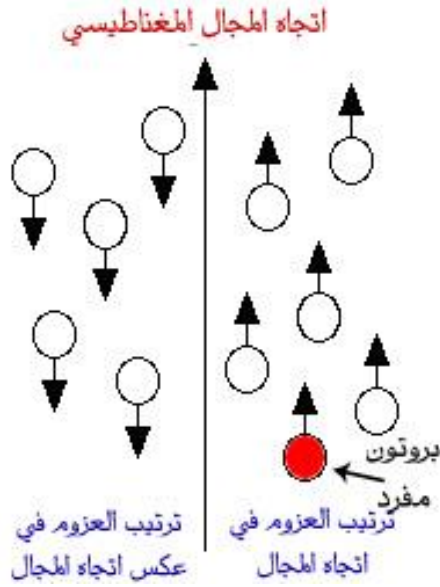
ولنتخيل ان هذه البلايين من الانوية عشوائية في حركتها حيث ان كل نواة تتحرك حول محورها بصورة مستقلة عن النواة الأخرى، وكما نعلم ان الجسم مكون من مواد مختلفة وبالتالي من ذرات مختلفة ولكن جهاز MRI سيركز فقط على ذرة الهيدروجين حيث إنها الذرة المثالية لان النواة تحتوي على بروتون واحد وله عزم مغناطيسي كبير نسبياً وهذا يعني انه عندما تتعرض ذرة الهيدروجين إلى مجال مغناطيسي خارجي فإنها سوف تتأثر به بحيث يصبح اتجاه العزم المغناطيسي في اتجاه المجال المغناطيسي الخارجي أو في عكسه. كما يحدث للإبرة المغناطيسية في مجال

مغناطيسي حيث تدور حول محورها وتستقر في النهاية في اتجاه المجال المغناطيسي كما يمكن إجبارها على ان تستقر في عكس اتجاه المجال المغناطيسي.

المجال المغناطيسي الكبير (2 تسلا) والموجه في اتجاه محور التجويف الذي يكون المريض بداخله في جهاز MRI. وبالتالي فإن بروتونات ذرة الهيدروجين المكونة لجسم المريض سوف تتأثر بالمجال المغناطيسي وترتب كما شرحنا سابقا بحيث يكون اتجاه عزمها المغناطيسي إما في اتجاه القدمين أو في اتجاه الرأس. ولهذا فإن اغلب هذه العزوم سوف تلغي بعضها البعض ولكن ليس كل العزوم تلغي بعضها البعض فقد تبقى بعض العزوم مفردة وتقدر نسبة هذه البروتونات التي تبقى مفردة بروتون



واحد لكل مليون بروتون، وقد يبدو هذا العدد قليل ولكن هذا يكفي لتكوين الصور المطلوبة وبدقة عالية.



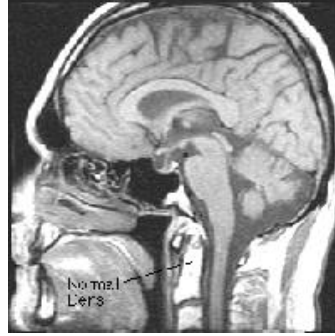
كل بروتونات ذرة الهيدروجين تترتب في اتجاه المجال أو في عكس اتجاه المجال ولا يمكن ان يكون هناك ترتيب آخر. العدد الأعظم من تلك البوتونات عزومها المغناطيسية تلغي بعضها البعض ولا يبقى إلا القليل كما في الشكل البروتون المميز باللون الأحمر فلا يوجد بروتون آخر بعكس اتجاهه ليلاشي عزمه المغناطيسي.

### وظيفة امواج الراديو

يتم توجيه أمواج الراديو على شكل نبضات على الجزء المراد فحصه من جسم الإنسان بتردد مناسب لذرة الهيدروجين فقط وتستجيب له فقط البروتونات المفردة التي ذكرناها من قبل وهذا الجزء يسمى الرنين resonance حيث تجعل نبضات



أمواج الراديو تلك البروتونات تأخذ اتجاه محدد وتدور بتردد يسمى تردد لارمور Larmour frequency وهو تردد الرنين لان تردد أمواج الراديو تم اختيارها في مدى استجابة بروتونات ذرة الهيدروجين.



صورة لدماع إنسان باستخدام MRI وتوضح التباين العالي والوضوح مقارنة بصورة جهاز CT

يتم توليد أمواج الراديو باستخدام ملفات مشكلة بأشكال خاصة حسب العضو المراد فحصه وللمتخصصين يمكنهم الاطلاع على أشكالها في الكتاب المشار له في المراجع (المراجع الأول). والآن يأتي دور المجال المغناطيسي- المتغير الذي يكون داخل المجال المغناطيسي المنتظم والذي تحدثنا عنه من قبل في أجزاء جهاز MRI ووظيفة هذا المجال المغناطيسي المتغير هو اختيار الجزء المراد تصويره بدقة عن طريق تشرجه إلى مقاطع رقيقة لتكوين الصور المجسمة. وذلك دون الحاجة إلى تحريك الجهاز لتصوير الجسم من مختلف الاتجاهات كما يحدث في جهاز الأشعة المقطعية CT.

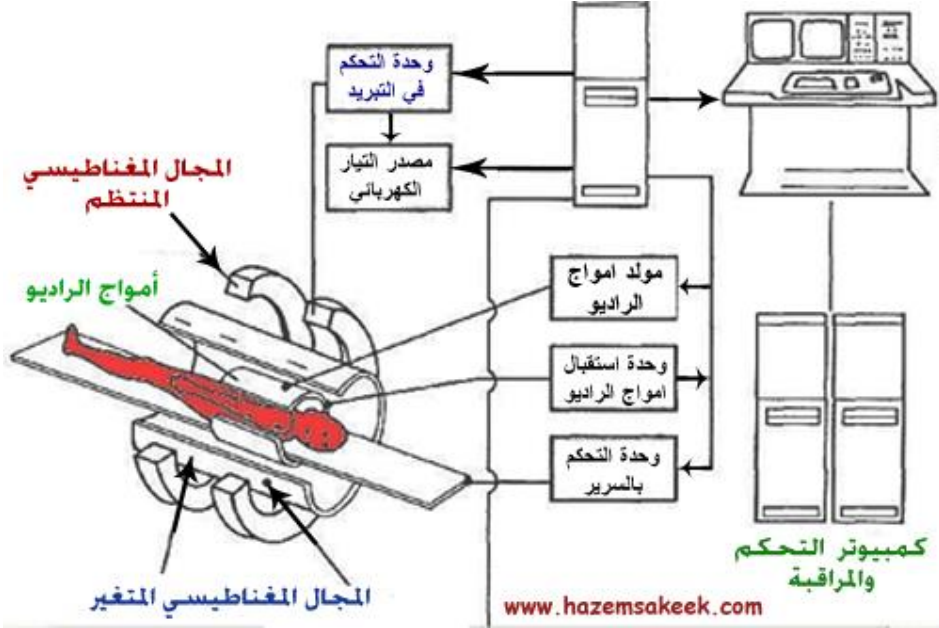


عندما تتوقف أمواج الراديو فإن بروتونات ذرات الهيدروجين التي تأثرت بأمواج الراديو تعود إلى وضعها الأصلي قبل تشغيل نبضات أمواج الراديو محررة الطاقة التي اكتسبتها، يتم التقاط هذه الطاقة بواسطة ملف توليد أمواج الراديو وترسل إلى الكمبيوتر الذي يقوم بتحليلها باستخدام معادلات رياضية تعرف باسم تحويلات فورير Fourier transform وهكذا تتم ترجمتها إلى صورة.

إذا نستنتج من ذلك ما يلي

1. المجال المغناطيسي المنتظم يعمل على ترتيب العزوم المغناطيسية لبروتونات ذرات الهيدروجين.
2. أمواج الراديو تعمل على التأثير على عزوم بروتونات ذرات الهيدروجين المفردة.
3. المجال المغناطيسي المتغير يعمل على تقسيم الجزء المحدد من الجسم إلى شرائح رقيقة ليتمكن الطبيب من دراسة وفحص وتصوير المقطع الذي يريد من جسم الإنسان.





مخطط توضيحي لمكونات جهاز التصوير باستخدام الرنين المغناطيسي  
MRI

### الحصول على الصور

كما في التصوير باشعة اكس او التصوير بالاشع المقطعية فإنه يتم حقن المريض بمادة لزيادة التباين الذي تعمل على توضيح الجزء المراد تصويره في الجسم وتميزه عن الأعضاء المجاورة كذلك هو نفس الحال في حالة التصوير بجهاز الرنين المغناطيسي- ولكن المادة المستخدمة في هذه الحالة تختلف، حيث ان المادة المستخدمة في حالة التصوير باشعة اكس او الاشعة المقطعية التي تستخدم اشعة اكس ايضا فإن المادة المستخدمة تتأين اذا تعرضت لاشعة اكس مما يعني انها سوف توقف اشعة اكس من النفاذ من ذلك العضو الذي يحتوي على مادة التباين. وبهذا نحصل على صورة



لذلك العضو عن طريق الظل الذي تم تصويره. ولكن مادة التباين المستخدمة في الرنين المغناطيسي لها وظيفة مختلفة تماماً، فهي تعمل على تغير المجال المغناطيسي-الموضعي للانسجة التي تفحص، وتصبح استجابة الانسجة الطبيعية مختلف عن الانسجة المصابة بمرض مما تعطي نتائج مختلفة.

### مزايا جهاز MRI

يعتبر جهاز MRI من الاجهزة القيمة والمفيدة جداً للطبيب حيث تمكنه من رؤية داخل جسم الانسان بوضوح أكثر من تلك التي نحصل عليها من جبهة التشخيص الأخرى، ويستخدم هذا الجهاز في تشخيص الاصابة بالسرطان وكذلك الاصابة في الدماغ وفي المفاصل وفي العمود الفقري، كما يستخدم لاكتشاف الاصابة في الكتفين وفي الرسغ وفي الركبة والكوع ويمكن ان يتم حساب وتقدير كتلة الانسجة في الجسم. هذا بالإضافة الى المزايا الأخرى التي تجبر الطبيب على تفضيل استخدام هذا الجهاز. كما ان جهاز MRI لايعتمد على أشعة مؤينة مما يعطي المريض الشعور بالاطمئنان ومادة التباين المستخدمة لا يوجد لها اثار جانبية تذكر كما في حالة جهاز CT. كما يجدر الاشارة انه من مزايا جهاز MRI هو امكانية تصوير أي مستوى أو مقطع من جسم الانسان وبأي اتجاه وهذا يميز جهاز MRI عن جهاز CT الذي يقوم بتصوير مقاطع من الجسم في اتجاه واحد حسب موضع الجسم بالنسبة للجهاز اما في جهاز MRI فإن كل المقاطع تصور في كل الاتجاهات بدون حركة الجسم وبدون حركة الجهاز ايضاً.



## عيوب جهاز MRI

بالرغم من الفوائد الجمة التي نحصل عليها من جهاز MRI إلا أنه يصاحبه بعض العيوب البسيطة والتي تتلخص في عدم امكانية تصوير الأشخاص ذوي الحجم الضخم وكذلك اذا وجد في الجسم مرابط معدنية، كما انه اذا وجد بطريق الخطأ اي قطعة معدنية مثل مقص او مفك فإن الصور تتشوه جداً هذا بالاضافة الى ان الجهاز يصدر صوتاً مزعجاً اثناء عمله بسبب التيار المستخدم لتوليد المجال المغناطيسي- المتغير وكلما ازداد المجال المغناطيسي كلما ازداد الصوت الصادر وغالباً ما ينصح المريض بوضع مادة شمعية في اذنيه لتجنب سماع هذا الصوت أو الاستماع إلى الموسيقى. كما ان المريض يجب ان يبقى ساكناً طوال مدة التصوير والتي تستغرق 20 دقيقة وقد تصل إلى 90 دقيقة واي حركة قد تسبب تشويه للصورة الناتجة. كما أن أجهزة MRI باهظة الثمن والفحص مكلف جداً

## تطورات مستقبلية متوقعة لجهاز MRI

تعد اجهزة MRI في اوجها فهي عمرها لا يتعد 20 عاما مقارنة باجهزة اشعة اكس التي مر عليها اكثر من 100 عام ولذلك التطوير على اجهزة MRI يعد محدودا لانها في افضل صورة ممكنة وتعطى نتائج ممتازة وصور دقيقة وواضحة. ولكن من الممكن ان يتم تطوير أجزاء MRI اصغر حجماً ومخصصة لوظيفة محددة مثل ان نجد اجهزة رنين مغناطيسي مخصصة لتصوير بعض اعضاء الجسم مثل تصوير الذراع أو العمود الفقري أو الركبة أو الرقبة أو التجويف البطني أو القفص الصدري أو



الدماغ. كذلك يعمل العلماء على استخدام اجهزة الرنين المغناطيسي- على تصوير  
دماغ الانسان اثناء قيامه باداء بعض المهام مثل الضغط على كرة او النظر إلى صورة  
لمعرفة كيف يعمل الدماغ. وبالتالي فإن مستقبل اجهزة الرنين المغناطيسي موجهة إلى  
الابحاث العلمية التي يمكن ان تتم باستخدامه لفهم العديد من اسرار جسم  
الانسان.

# جهاز التصوير المقطعي





## □ جهاز التصوير المقطعي

# Computerized Axial Tomography (CAT)



يعد جهاز التصوير المقطعي Computerized Axial Tomography من الأجهزة الطبية الحديثة التي تستخدم أشعة اكس في الحصول على صورة مجسمة لجسم الإنسان بدلاً من صور أشعة اكس التقليدية التي توفر معلومات بسيطة عن الهيكل العظمي للإنسان وبعض الأعضاء العضوية. وتعتبر أجهزة التصوير المقطعية هي تطور

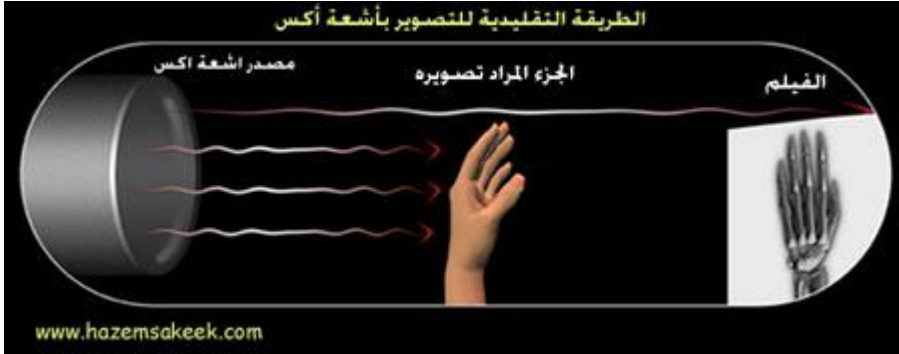
للتصوير والتشخيص باستخدام أشعة اكس واعتمد تطوره على التطور الهائل في الكمبيوتر وسرعته. وباستخدام أجهزة CAT يستطيع الطبيب فحص وتشخيص جسم الإنسان بدقة تصل تمكنه من النظر إلى جسم الإنسان كأنه مكون من شرائح رقيقة لتحديد المرض ومكانه بدقة وسرعة عالية.

في هذه المقالة سوف نقوم بشرح مفصل لفكرة عمل جهاز التصوير بالأشعة المقطعية CAT ومراحل تطوره وتركيبه واستخداماته.



## الفكرة الأساسية لجهاز الـ CAT

الاسم العلمي لجهاز الأشعة المقطعية هو Computerized Axial Tomography (CAT) ويعرف اختصاراً بـ CT أي Computerized Tomography (CT). وهو عبارة عن جهاز مسح ينتج أشعة أكس، وأشعة أكس هي أشعة ذات طاقة عالية تحترق الأنسجة الحية لجسم الإنسان ولا تحترق العظام، وتعتبر أشعة أكس جزء من الطيف الكهرومغناطيسي والذي يتكون من فوتونات تنطلق بسرعة الضوء والتي تبلغ 300,000 كيلومتر في الثانية ذات تردد عالي وطاقة أكبر بكثير من طاقة الضوء المرئي. وقد تم شرح أشعة أكس واستخدامها في الطب في مقال سابق بعنوان كيف تعمل أشعة أكس.



مخطط توضيحي لفكرة عمل التصوير التقليدية باستخدام أشعة أكس

في التصوير العادي باستخدام أشعة أكس يعمل جهاز التصوير بإصدار أشعة أكس على الجزء المحدد من جسم الإنسان ويتم استقبال الأشعة التي تنفذ من الجسم على



الجهة المقابلة على فيلم خاص، والصورة التي تلتقط عبارة عن ظل هذه الأشعة على جسم الإنسان وحيث إنها تحترق الأنسجة الحية للجسم ولا تحترق العظام فإن الظل هو عبارة عن صورة العظام

وحيث ان الظل هو عبارة عن صورة في بعدين لا تعطي فكرة كاملة عن شكل الجسم. ولتوضيح ذلك دعنا نستعين بالمثل الموضح في الشكل أدناه حيث يقف شخص عند احد أركان الغرفة ويحمل في يده اليمنى بالقرب من صدره ثمرة الأناناس وفي يده اليسرى ثمرة موز، فإذا ما تم تسليط الضوء من مصباح في الاتجاه الجانبي للشخص فإن الظل الذي يتكون سوف يوضح لك ان الشخص يحمل الأناناس فقط ولا يعطي أي معلومة إذا ما كان يحمل موزة في اليد الأخرى وكذلك الحال إذا ما سلط الضوء بالاتجاه الأمامي للشخص فإن الظل المتكون سوف يظهر لك ان الشخص يحمل الموزة بيده اليسرى بينما لا تملك أية معلومة عن ماذا يحمل بيده اليمنى على افتراض انك لا ترى إلا الظل فقط.





مثال توضيحي لقصور الطريقة التقليدية للتصوير بأشعة أكس  
وكيف ان المعلومات تختفي حسب جهة التعريض للضوء

ما تم مناقشته في المثال السابق هو بالضبط ما يحدث في حالة التصوير التقليدي باستخدام أشعة أكس فإذا ما كانت المنطقة المراد تصويرها في جسم الإنسان تحتوي على عظمة صغيرة وخلفها أو أمامها عظمة كبيرة فإن الصورة الناتجة ستظهر العظمة الكبيرة فقط، ولتصوير العظمة الصغيرة لابد من الطلب من الشخص الدوران بالنسبة لجهاز أشعة أكس أو جعل أشعة أكس تدور حوله بالزاوية المناسبة لتصوير العظمة الصغيرة.

ولنعود إلى مثالنا السابق مرة أخرى فلنستطيع رؤية الموزة والأناس فإننا نحتاج



إلى ان ننظر إلى الظل المتكون عن كل جانب لنستطيع تخيل ما يحمله في كلتا يديه. وهذه هي الفكرة الأساسية التي يعتمد عليها جهاز الأشعة المقطعية حيث يعمل الجهاز على توجيه أشعة اكس على جسم الإنسان مع تحريكه حركة دائرية حول مركز الجسم لأخذ المئات من الصور على زوايا مختلفة ويتم تجميع الصور الناتجة (الظلال المتكونة على الجانب المقابل لكل زاوية) في ذاكرة الكمبيوتر الذي يقوم بدوره بتجميعها وتكوين صورة ثلاثية الأبعاد للجسم.

### مراحل تطور جهاز الاشعة المقطعية.

أول جهاز تصوير بالأشعة المقطعية تم اختراعه بواسطة العالم البريطاني Godfrey Newbold Hounsfield في مختبرات البحوث المركزية لشركة ثورن أي أم أي حيث بدأ بوضع فكرته في 1967 وتمكن في العام 1972 من إنتاج أول جهاز تصوير بالأشعة المقطعة وحصل على جائزة نوبل في العام 1979 مع شريكه Allan McLeod Cormack الذي عمل معه فيما بعد.



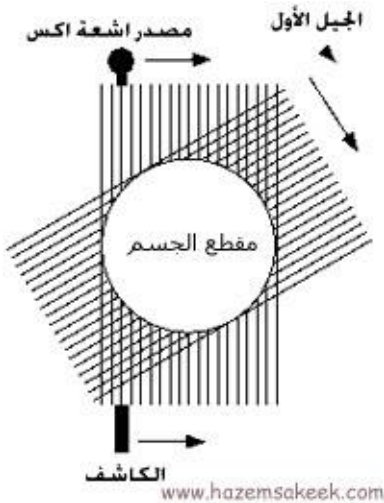
أول نموذج لفكرة عمل جهاز CAT



النموذج الأصلي الذي تم تصميمه في العام 1971 صمم ليتمكن من اخذ 160 مقطع لجسم الإنسان وكل مقطع يتم اخذ 180 صورة حول محور الجسم أي صورة لكل درجة ولقد أخذت عملية التصوير أكثر من 5 دقائق. والصور التي تم تجميعها تأخذ حوالي 2.5 ساعة ليتمكن الكمبيوتر من تكوين الصورة.

تم إنتاج أول جهاز تصوير مقطعي لتصوير الدماغ وسمي على اسم الشركة EMI Scanner واستخدم في مستشفى اتكنسون مورلي في ولاية وينبلدون البريطانية وأول شخص تم عمل مسح مقطعي لدماغه كان في العام 1972، واحتاجت عملية مسح مقطع واحد إلى 4 دقائق والزمن المطلوب لتكوين الصورة بواسطة الكمبيوتر يحتاج إلى 7 دقائق لكل صورة. وهذا الجهاز يحتاج إلى وضع الشخص في وعاء خاص مملوء بالماء لتقليل التعرض لأشعة اكس الصادرة من الجهاز أثناء عملية المسح والتصوير.

الصور الناتجة من هذا الجهاز كانت ضعيفة من ناحية القدرة التحليلية Resolution وتبلغ  $80 \times 80$  بكسيل فقط.



### اجيال جهاز المسح المقطعي CT

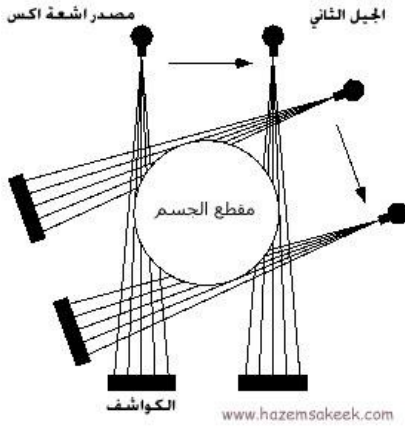
تصنف أجهزة المسح المقطعية إلى عدة أجيال حسب تطور آلية المسح وسرعته والمدة الزمنية المستغرقة لتكوين الصورة، وسوف نستعرض هذه الأجيال ونناقش مراحل تطورها.



## الجيل الأول

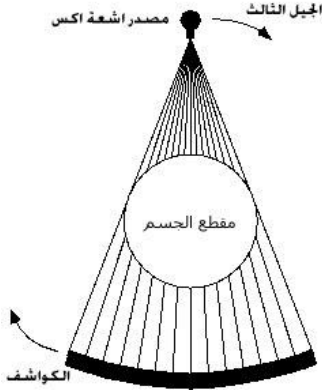
استخدم الجيل الأول من الماسحات المقطعية شعاع بسمك قلم الرصاص يوجه إلى الجسم ويتم رصده بواسطة كاشف واحد أو اثنين فقط. والصور يتم تجميعها من خلال مسح دوراني وانتقالي حيث يكون مصدر أشعة اكس والكاشف مثبتان في جهاز يسمى الجانترى gantry ويدوران بالنسبة لبعضهما البعض بحيث يكون جسم الإنسان في محور الدوران لهما. وتقدر المدة الزمنية للصورة الواحدة حوالي 4 دقائق حيث يكون الجانترى قد عمل دورة كاملة 180 درجة ثم ينتقل الجانترى لمسح جزء آخر من جسم الإنسان. وكان استخدام هذا الجيل يتطلب غمر جسم المريض في حوض مائي لتقليل تعرضه لأشعة اكس.

## الجيل الثاني



تم تطوير جهاز المسح المقطعي بحيث زاد عدد الكواشف وأصبح شعاع أشعة اكس أكثر اتساعاً ليغطي الكواشف المقابلة له. طريقة المسح لا زالت شبيهة بطريقة المسح المستخدمة في الجيل الأول عبارة عن مسح دائرة وانتقالي حول جسم الإنسان، وزيادة عدد الكواشف وزيادة اتساع أشعة اكس أدى إلى ان تكون دورة المسح

لكل مقطع من مقاطع الجسم تغطي 180 درجة بانتقال 30 درجة بدلا من درجة واحدة كما كان في الجيل الأول مما أدى إلى تقليل زمن المسح.



### الجيل الثالث

طراً تطور ملحوظ على الجيل الثالث من حيث السرعة في الحصول على الصورة، وذلك بإلغاء الحركة الانتقالية وجعل الحركة دائرية فقط، مما جعل زمن المسح ثانية واحدة فقط. وللتخلص من الحركة الانتقالية أثناء المسح في الجيل الثالث تم تصميم الكواشف التي ترصد أشعة اكس التي تنفذ من جسم الإنسان على شكل قوس مما يحافظ على مسافة ثابتة بين مصدر أشعة اكس والكواشف أثناء الدوران. كما تم إضافة حواجز بين المريض وأشعة اكس وبين المريض والكواشف لنضمن حزمة رقيقة من أشعة اكس التي تنفذ إلى جسم الإنسان مما يقلل من تعرضه للأشعة.

### الجيل الرابع

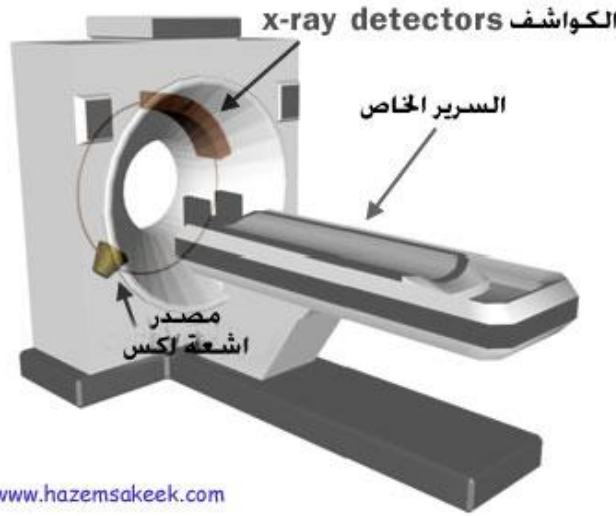


تم تصميم الجيل الرابع مشابهاً للجيل الثالث من ناحية المسح بحركة دائرية فقط، بالإضافة التي طرأت هي على الكواشف التي تم تثبيتها على كامل محيط الجانترى والتي بلغ عددها 1000 كاشف، مما جعل الحركة مقصورة على مصدر أشعة اكس فقط مع ثبات الكواشف لأنها تحيط كامل الجانترى. هذا التصميم جعل مسح مقطع كامل للجسم لا يستغرق أكثر من ثانية واحدة.



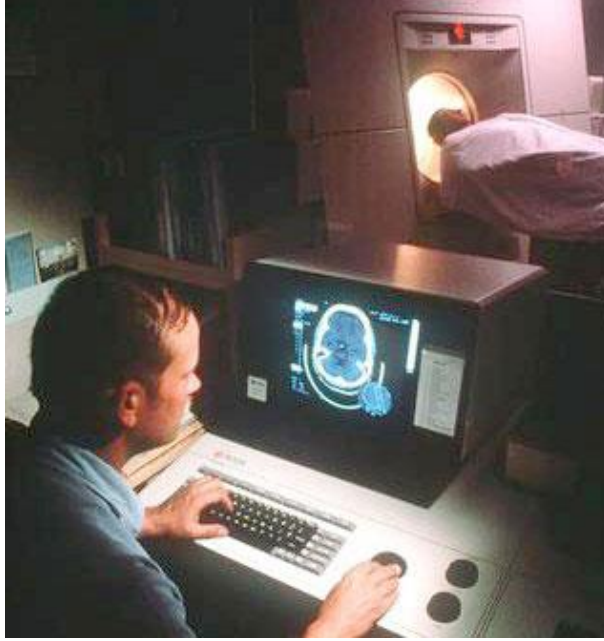
## آلية تكوين الصورة

بينما يستلقي الشخص المراد تصويره بجهاز المسح القطعي على سرير خاص يتحرك السرير ببطء ليصبح في منتصف جهاز المسح الجانثري ويحتوي الجانثري على جهاز أشعة اكس الذي يدور في حلقة حول المريض ويحتوي الجانثري على الكواشف الحساسة لأشعة اكس في الجهة المقابلة لأشعة اكس، وبالتالي يكون الشخص المستلقي على السرير في مركز الدوران وبين مصدر أشعة اكس والكواشف.



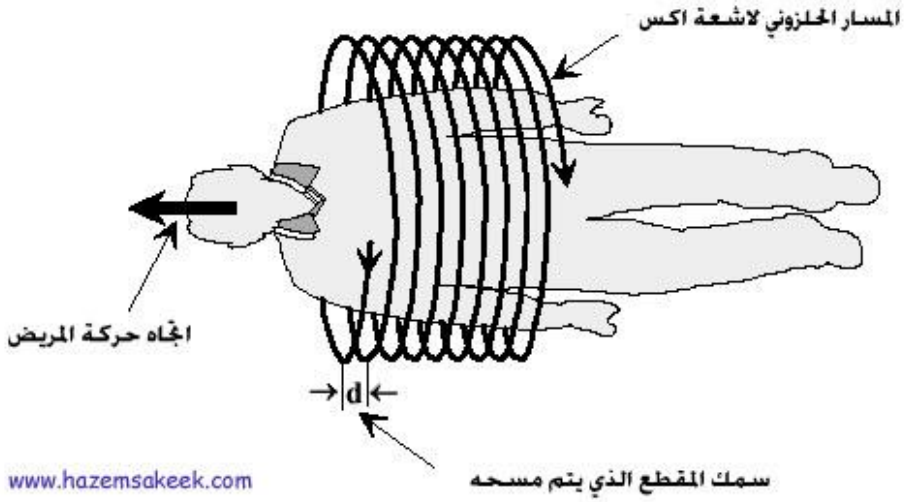
## مخطط لجزء من جهاز CAT والمخصص لتصوير المريض

يتحكم في دوران أشعة اكس والكواشف داخل الجانثري موتور خاص يتحكم فيه الكمبيوتر ليحدد زاوية وسرعة الدوران. بعد إتمام دورة كاملة يكون الجهاز قد صور مقطع من الجسم فيتحرك السرير بالنسبة للجانثري ويتم مسح وتصوير مقطع آخر من الجسم.

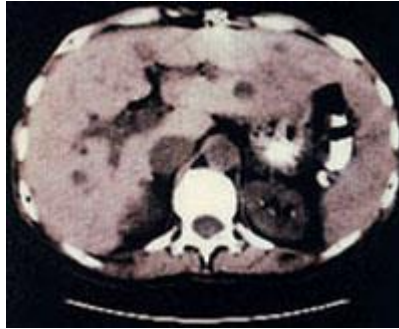


### غرفة الكمبيوتر والتحكم بجهاز CAT

وبهذه الطريقة يكون الجهاز قد صور باستخدام أشعة اكس كل المنطقة المطلوب تصويرها على شكل مقاطع من خلال انتقال ودوران أشعة اكس داخل الجانثري أو ما يشبه الحركة الحلزونية. يتحكم الكمبيوتر في شدة أشعة اكس حسب المنطقة المراد تصويرها من جسم الإنسان. وبعد الانتهاء من مسح كل جسم الإنسان يقوم الكمبيوتر بتجميع كل المعلومات التي حصل عليها من الكواشف ليكون صورة ثلاثية الأبعاد للجسم، والجدير بالذكر انه لا يتم مسح كامل جسم الإنسان فعادة الطبيب يحدد للفني المختص الجزء المطلوب مسحه.



وحيث ان تصوير الجسم يتم من خلال مقطع ومن مختلف الزوايا فإن الصور التي نحصل عليها بواسطة جهاز الأشعة المقطعية تكون أكثر تفصيلاً ووضوحاً بالمقارنة بالتصوير التقليدي باستخدام أشعة اكس.



صورة لمقطع من الكبد

وفي النهاية فإن جهاز الأشعة المقطعية أصبح من الأجهزة الأساسية لتشخيص التي يعتمد عليها الأطباء في العلاج.



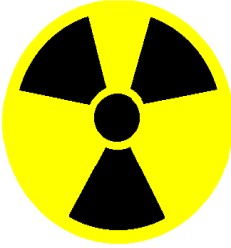
# الطب النووي





## الطب النووي □

### Nuclear Medicine □



#### كيف تصدر الإشعاعات النووية

نسمع كثيرا عن أخطار الإشعاعات والمواد المشعة وخطرها على الإنسان ولعلك عزيزي القارئ قد شاهدت أو سمعت عن الآثار السلبية التي تسببها هذه الإشعاعات على كل كائن حي وخصوصا إذا دخلت الجسم عن طريق المواد الغذائية

الملوثة بها، كما ولا بد انك سمعت ان المناطق التي تصاب بالمواد المشعة لا يمكن معالجتها ويبقى لها نشاط إشعاعي يستمر إلى ملايين السنين مثلما حدث في كارثة المفاعل النووي الروسي المعروف باسم كارثة تشيرنوبل والتي تسربت فيها المواد المشعة بعد عطل في المفاعل ناجم عن خلل في الصيانة. أن هذه المواد المشعة لها استخدامات عديدة في الطب وفي توليد الطاقة الكهربائية كما ان الكربون 14 المشع في أجسامنا وفي مكونات الكائنات الحية يستخدم في تقدير الأعمار.

نلاحظ من ذلك ان الأشعة النووية لها استخدامات سلمية وفي نفس الوقت لها مخاطر لا يمدد عقباها. هذا بالطبع يعود إلى كيف نستخدمها ونطوعها من اجل البشرية، فالعناصر التي لها نشاط إشعاعي هي عناصر موجودة في الطبيعة مثل عنصر اليورانيوم والبلوتونيوم وأصبحت مصطلحات كثيرة نستخدمها في حياتنا



منها اليورانيوم والبلوتونيوم وأشعة جاما وأشعة الفا وأشعة بيتا والأشعة الكونية والقنبلة النووية والمفاعل النووي والانفجار النووي وعمر النصف والكربون 14 والنظائر وغيرها من هذه المصطلحات التي ترتبط كلها بنشاط نواة الذرات الغير مستقرة.

في هذا الموضوع سوف ندخل في جولة داخل النواة ونحاول معرفة أسرارها ولماذا تكون بعض الانوية مستقرة وبعضها الآخر غير مستقرة وكيف تخرج هذه الإشعاعات التي هي قاتلة ونافعة في نفس الوقت كل هذا سنتناوله بأسلوب علمي بسيط ليصبح القارئ مدركا ومفسرا لكل ما يتعلق النشاط الإشعاعي.

## النواة

لتوضيح من أين تأتي الأشعة النووية، دعنا في البداية أعزائنا القراء نبدأ بتوضيح معنى كلمة نواة "Nuclear".

نعلم ان كل شيء حولنا يتكون من ذرات atoms. هذه الذرات بتجمعها تكون الجزيئات molecules فمثلاً جزيء الماء الذي نشربه مكون من اتحاد ذرتين هيدروجين مع ذرة أكسجين في وحدة واحدة تسمى جزيء الماء  $H_2O$  وهذه المعلومات أساسية نعلمها جميعا، ونضيف عليها انه في الطبيعة توجد ما يقارب 92 نوع مختلف من الذرات أو العناصر. ولهذا فإن أي مادة على الأرض من معادن وبلاستيك وزجاج وورق وملابس وعظام أجسامنا وكل شيء مكون من هذه العناصر (92 عنصر) الموجودة في الطبيعة. والتي تم ترتيبها في جدول يعرف باسم



الجدول الدوري للعناصر والذي يحدد خصائص كل مجموعة من العناصر والكثير من المعلومات حول كل عنصر فيه.

### السؤال الآن ما تتكون الذرة نفسها؟

في داخل كل ذرة ثلاثة أنواع من الجسيمات هي على النحو التالي:

- البروتونات Protons
- النيوترونات Neutrons
- الإلكترونات Electrons

البروتونات والنيوترونات تربطها قوة تسمى القوة النووية وتكونان معاً نواة الذرة، في حين الإلكترونات تحيط بالنواة وتدور حولها في مدارات محددة تسمى مستويات الطاقة للإلكترونات. الإلكترونات والبروتونات تمتلكان شحنة كهربائية متساوية في المقدار ومتعاكسة في الإشارة، بمعنى ان شحنة الإلكترون سالبة وشحنة البروتون موجبة ولكن متساويتين في المقدار، ولهذا السبب تنشئ بين البروتون في النواة تجاذب مع الإلكترون حول النواة وتسمى هذه بقوة تجاذب كولوم الكهربائية. وفي اغلب الأحيان تكون عدد البروتونات مساوياً لعدد الإلكترونات، وهذا يجعل الذرة متعادلة كهربياً.

ماذا عن شحنة النيوترون؟ تعتبر النيوترونات جسيمات متعادلة كهربياً، وبذلك لا تمتلك شحنة. تعمل النيوترونات على ربط البروتونات مع بعضها البعض في نواة



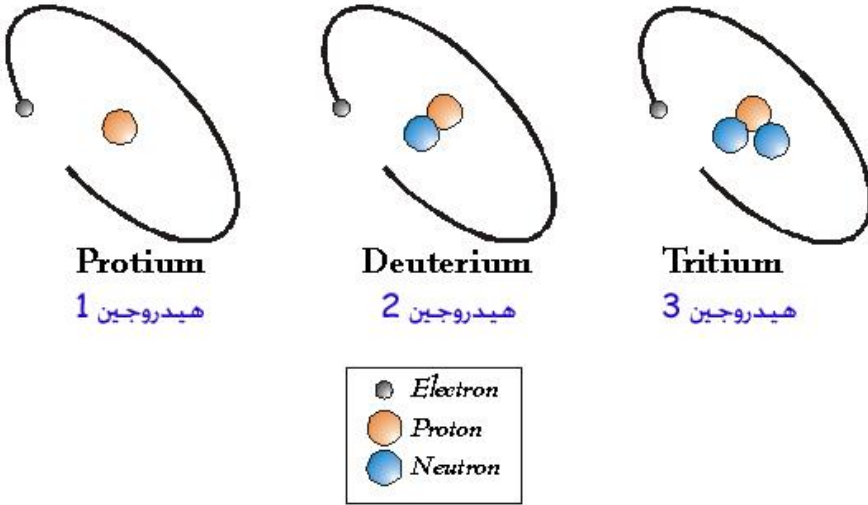
الذرة. حيث تكون كل البروتونات مجتمعة في النواة وشحنتها الموجبة تعمل على تنافرها عن بعضها البعض، لذا فإن النيوترونات تؤثر على البروتونات بقوة ربط نووية أكبر من قوة التنافر بينها مما تحافظ على تماسك الذرة واستقرارها.

الآن عزيزي القارئ يجب ان تعلم ان عدد البروتونات في النواة يحدد سلوك الذرة فعلى سبيل المثال لو كان في النواة 13 بروتون فهذا يعني وجود 13 إلكترون حول النواة (لان عدد البروتونات يساوي عدد الالكترونات ولذلك الذرة تكون متعادلة كهربياً وإذا اختلف عدد البروتونات عن عدد الالكترونات تصبح الذرة اما ايون موجب أو ايون سالب) نعود الآن إلى النواة المكونة من 13 بروتون هذه تعتبر نواة ذرة الألومنيوم. عند تجميع ملايين ذرات الألومنيوم مع بعضها البعض نحصل على معدن الألومنيوم الذي نستخدمه في الكثير من الصناعات. وهذا الألومنيوم يعرف في الطبيعة بألومنيوم - 27. لاحظ إنه في نواة الألومنيوم يوجد 13 بروتون 14 نيوترون ( $27=14+13$ ) ويسمى بالعدد الكتلي atomic mass number. ولذلك كل نواة لها عدد كتلي مختلف عبارة عن حاصل جمع مكونات النواة من بروتونات ونيوترونات. تعتبر ذرة الألومنيوم ذرة مستقرة، أي لو قمنا بوضع ذرة ألومنيوم في زجاجة مغلقة لملايين السنين، فإنها ستبقى ذرة ألومنيوم ومكونة من 13 بروتون 13 إلكترون 14 نيوترون وهذا ما يسمى بالذرة المستقرة stable atom.



## النظائر isotopes

قبل حوالي 100 عام أو أكثر كان الاعتقاد السائد أن كل الذرات مستقرة مثل ذرة الألو منيوم التي تحدثنا عنها. ولكن في الحقيقة الكثير من الذرات غير مستقرة فعلى سبيل المثال لو أخذنا ذرة نحاس نجد ان هناك نوعين من ذرات النحاس الأول يسمى نحاس 63 والثاني نحاس 65 والنوع الأول موجود في الطبيعة بنسبة تصل إلى 70% بينما النوع الثاني يتواجد بنسبة 30%، هذين النوعين من ذرات النحاس يسمى بالنظائر isotopes. يكون عدد البروتونات في كل نظير ثابتاً وفي النحاس يكون عدد البروتونات هو 29 بروتون ولكن عدد النوتونات يختلف ففي نحاس 63 يوجد 34 نيوترون وفي نحاس 65 يوجد 36 نيوترون. كلا من هذين النوعين من ذرات النحاس لهما نفس الخصائص وكذلك هما من الذرات المستقرة.



يوضح الشكل نظائر ذرة الهيدروجين



أما الجزء الذي كان غامضاً من قبل 100 عام مضت هو ان بعض العناصر لها نظائر مشعة. فمثلاً ذرة الهيدروجين عنصر له أكثر من نظير أحد هذه النظائر مشع. فالهيدروجين العادي يسمى أحياناً هيدروجين-1 ويعتبر أبسط الذرات في الكون حيث تحتوي نواته على بروتون فقط ولا يوجد نيوترون وهذا أمر طبيعي فلا حاجة للنيوترونات لربط البروتونات لان النواة مكونة من بروتون واحد فقط. ويوجد ذرات أخرى للهيدروجين تحتوي نواتها على بروتون ونيوترون ويعرف باسم الديتيريم أو الهيدروجين-2 تحتوي نواة الديتيريم على بروتون واحد ونيوترون، ويتواجد الديتيريم بنسبة بسيطة في الطبيعة تصل إلى 1.5% من كل الهيدروجين الموجود في الطبيعة وبالرغم من ان له نفس خصائص الهيدروجين إلا ان الماء الناتج عن اتحاد الديتيريم مع الأكسجين ينتج عنه ماء ولكن سام جداً. الديتيريم يعتبر نظير مستقر للهيدروجين ولكن الهيدروجين 3 والذي يطلق عليه تريتيوم tritium يعتبر نظير غير مستقر وتحتوي نواته على بروتون واحد ونيوترونين.

### ماذا نعني بان التريتيوم عنصر غير مستقر؟

هذا ما سنحاول توضيحه في هذا الموضوع ولنضرب مثلاً بسيطاً، لو انك قمت بوضع جرة مملوءة بالتريتيوم وبعد سنوات طويلة (آلاف السنين) ستجد ان التريتيوم قد تحول إلى هيليوم-3 (ذرة الهيليوم-3 تحتوي نواتها على بروتونين ونيوترون واحد) وهذا عنصر مستقر في الطبيعة والعملية التي تحولت فيه ذرة التريتيوم إلى ذرة الهيليوم تسمى اضمحلال إشعاعي radioactive decay. وتعتبر العناصر الغير مستقرة



عناصر لها نشاط إشعاعي حتى تتحول إلى عناصر مستقرة.

إن الكثير من العناصر في الطبيعة هي عناصر لها نشاط إشعاعي لكل نظائرها، ويعتبر عنصر اليورانيوم أفضل مثال على ذلك لأنه أثقل العناصر في الطبيعة وله أكبر نشاط إشعاعي بالمقارنة بالعناصر الأخرى. كما أن أية عناصر أخرى من صنع الإنسان وأثقل من اليورانيوم هي عناصر غير مستقرة ولها نشاط إشعاعي كبير.

### الاضمحلال الإشعاعي Radioactive Decay

الاضمحلال الإشعاعي عملية طبيعية، فالذرة التي لها نظائر غير مستقرة تحدث إشعاعات تلقائياً لتتحول إلى عناصر أخرى مستقرة وهذه الإشعاعات تخرج من نواة العناصر في احد ثلاثة عمليات وهي:

1. اضمحلال الفا Alpha decay

2. اضمحلال بيتا Beta decay

3. الانشطار التلقائي Spontaneous fission

وينتج عن هذا نشاط هذه العمليات الثلاثة أربعة أنواع مختلفة من الأشعة وهي:

4. أشعة الفا Alpha rays



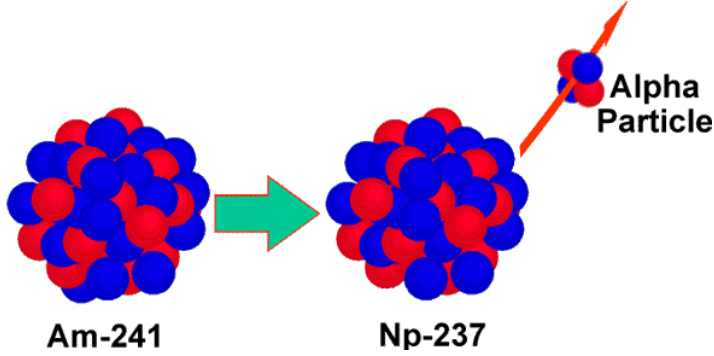


5. أشعة بيتا Beta rays

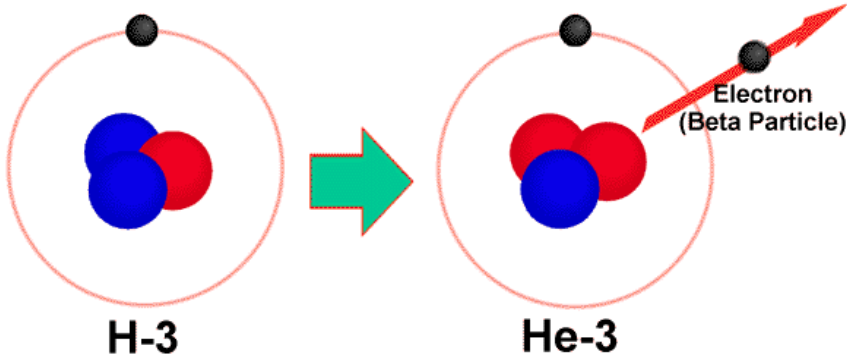
6. أشعة جاما Gamma rays

7. الأشعة النيوترونية Neutron rays

لتوضيح الفكرة سوف نأخذ مثلاً على عنصر- مشع وهو الامريكيوم - 241 "americium-241" والمستخدم في أجهزة كشف الحريق، هذا العنصر- يطلق جسيمات الفا وهذه الجسيمات عبارة عن انوية الهيليوم (يحتوي كل جسيم الفا على بروتونين ونيوترونين) وعندما تفقد ذرة الامريكيوم-241 جسيم الفا فهي تفقد من مكوناتها بروتونين ونيوترونين معا وبهذا فإنها تتحول إلى ذرة نيبتونيم - 237 "neptunium-237". وتنطلق جسيمات الفا بسرعة كبيرة جداً تصل إلى 16000 كيلومتر/ الثانية. ويحسب مقدار الاضمحلال لعناصر المشعة من خلال عمر النصف والذي يعني مقدار الزمن اللازم للتحويل نصف ذرات العنصر- المشع إلى غير مشع وتتراوح أعمار بعض العناصر المشعة من ثوان معدودة إلى عناصر لها أعمار تصل ملايين السنين. والعنصر الذي نتحدث عنه الامريكيوم - 241 له عمر نصف يصل إلى 458 سنة بينما الامريكيوم-243 يصل عمره إلى 7370 سنة.



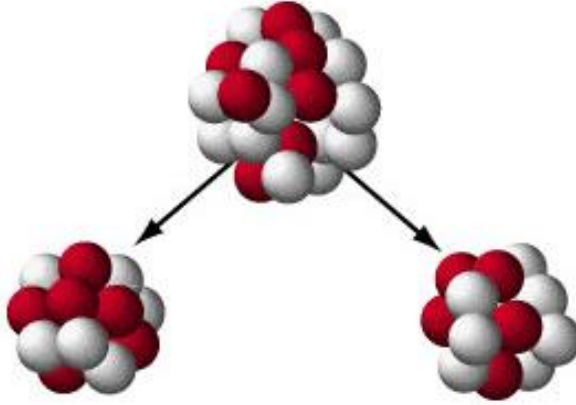
التريتيوم (الهيدروجين-3) هو مثال جيد لعنصر مشع ينتج جسيمات بيتا وهي عبارة عن نيوترون يتحول إلى بروتون وإلكترون وجسيم ثالث يسمى مضاد النيوتريينو antineutrino. وتطلق النواة في مضاد النيوتريينو والإلكترون ولكن تحتفظ بالبروتون. ويسمى الإلكترون الناتج من هذا التحول بجسيم بيتا، وعلى هذا النحو فإن النواة تفقد نيوترون ولكن تكتسب بروتون. ولهذا فإن الهيدروجين-3 يتحول إلى هيليوم-3 وهذا موضح في الشكل أدناه.



تحلل ذرة تريتيوم هيدروجين-3 إلى هيليوم-3



أما في الانشطار التلقائي فإن الذرة بدلا من ان تطلق جسيمات الفا أو جسيمات بيتا فإنها تنقسم ومن هنا جاءت التسمية بالانشطار. فمثلا في ذرة الفريميم-256 " fermium-256 " تنقسم إلى ذرتين الأولى ذرة الزينون-140 " xenon-140 " والثانية ذرة البالاديوم-112 " palladium-112 " وتنطلق أربع نيوترونات بمجرد الانشطار. يمكن لذرات أخرى ان تمتص تلك النيوترونات وتحدث ما يسمى بالتحلل النووي ويتبع عنه إصدار أشعة جاما.



انشطار نواة إلى نواتين في عملية انشطار نووي

أما الأشعة النيوترونية فهي قادرة على تحويل العناصر الغير مشعة إلى عناصر مشعة ولهذا فهي تستخدم في الطب النووي. كما تستخدم في دراسة الجسيمات الأولية، وتنتج الأشعة النووية في المفاعلات النووية وفي المعجلات.



## لماذا تصدر الانوية اشعاعات نووية؟

في الكثير من الحالات تطلق الانوية جسيمات الفا وجسيمات بيتا وكذلك أشعة جاما لتتحول من الحالة المشعة (الحالة الغير مستقرة) إلى الحالة العادية (الحالة المستقرة) فهذه الأشعة إذا هي ناتجة عن الطاقة الإضافية التي تمتلكها النواة ولذلك فهي تتخلص منها بهذه الإشعاعات مثلما تتخلص الذرة من الطاقة الضافية عن طريق إطلاق الفوتونات (الأشعة الكهرومغناطيسية) مثل أشعة اكس. لذلك أشعة جاما تنتج عن إثارة النواة بينما أشعة اكس تنتج عن إثارة الذرة، وطاقة أشعة جاما اكبر بكثير من أشعة اكس.

كما إننا نسمع عن الأشعة الكونية "cosmic rays" وهذه أشعة تنتج من الشمس والنجوم المشتعلة وتتكون الأشعة الكونية من البروتونات التي تسير بسرعات فائقة تصل إلى سرعة الضوء وهذه تكسبها طاقة تمكنها من اختراق أي مادة ولكن من حكمة الله سبحانه وتعالى انها لا تصل إلى الأرض بسبب امتصاصها في الطبقات العليا للغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية (طبقة الأوزون) وتشتت ويتج عنها أشعة كونية ثانوية ذات طاقة اقل وتمتص على مراحل ولكن لا تعتبر ضارة في هذه الحالة حتى لو وصلت إلى الأرض.

## الخطر الطبيعي

بالرغم من ان النشاط الإشعاعي هو نشاط طبيعي لا دخل للإنسان فيه حيث تتحول فيه الذرة الغير مستقرة إلى ذرة مستقرة وهذا جزء من التحولات التي تحدث



في الطبيعة إلا انه كل الإشعاعات النووية تعتبر مدمرة للكائن الحي. جسيمات الفا وجسيمات بيتا والنيوترونات وأشعة جاما والأشعة الكونية كلها معروفة بأنها أشعة مؤينة ionizing radiation فهي عندما تصطدم بالخلية الحية فإنها تحول ذراتها إلى أيونات موجبة بتحرير الذرة المكونة للخلية الحية من الكترولوناتها وهذا بالتأكيد له عواقب خطيرة تبدأ بقتل الخلية الحية وتنتهي بالتدخل في الشفرات الجينية مما يسبب ما يعرف باسم السرطان cancer.

بالنسبة لجسيمات الفا التي تتكون من ايونات الهيليوم فإنها تعتبر جسيمات كبيرة ولا يمكن ان تخرق المادة بمسافة كبيرة ولذلك فإن هذه الجسيمات لا تشكل ضرراً على الإنسان إذا كانت موجود خارجة ولكن إذا تناول الإنسان طعاماً ملوثاً بمواد إشعاعية تطلق جسيمات الفا فإنها بدون شك سوف يكون لها اثاراً مدمرة على الأجزاء الداخلية لجسمه.

أما جسيمات بيتا فهي تستطيع اختراق الجسم بنسبة اكبر من جسيمات الفا ولكن لا تعتبر خطيرة إلا إذا دخلت من خلال تناول الأطعمة الملوثة بالمواد المشعة التي تصدر جسيمات بيتا.

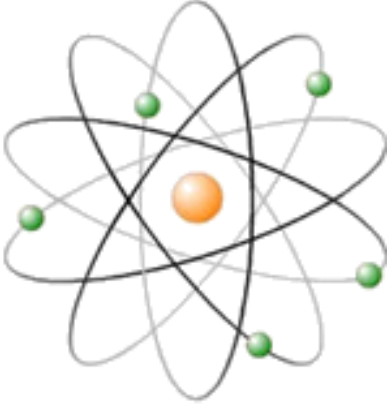
النيوترونات فهي جسيمات لا تحمل شحنة ولهذا لها قدرة كبيرة على الاختراق مثلها مثل أشعة جاما ولذلك تعتبر من اخطر الإشعاعات التي قد تهدد حياة الإنسان لأنها تستطيع الوصول إلى مناطق عميقة في جسمه لو أتت من الخارج، وللعلم قد تم تطوير قنابل نيوترونية تنفجر وتطلق أشعة جاما وجسيمات نيوترونية تعمل على



القضاء على كل شيء حي يقع في منطقة تغطيتها.

وأخيراً فإن أجسامنا تحتوي على عنصر الكربون 14 وهذا موجود بنسبة ثابتة في الجسم الحي وهو عنصر مشع ويتناقص نسبة وجوده في الجسم بعد الوفاة ولذلك يستخدم في تقدير الأعمار وقد تم تخصيص موضوع لقياس العمر بواسطة الكربون 14. كما تجدر الإشارة إلى أنه بالرغم من هذه المخاطر القاتلة للمواد المشعة إلا أن لها الكثير من التطبيقات السلمية المفيدة مثل محطات توليد الطاقة الكهربائية واستخداماتها في الطب النووي.

### التشخيص والعلاج بالأشعة النووية



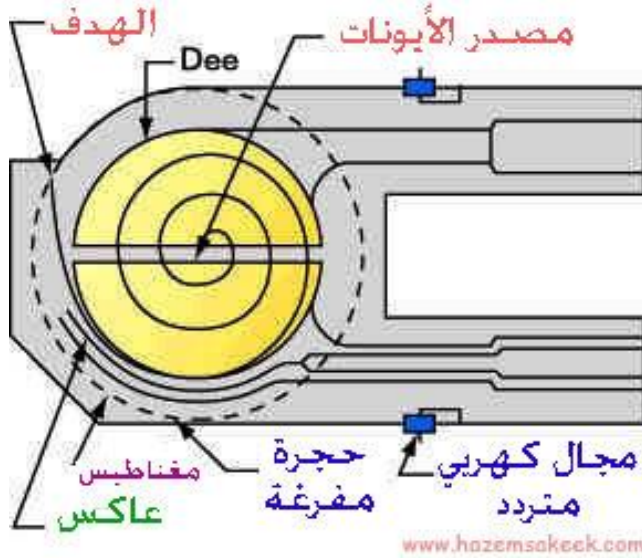
تحدثنا في مقالات سابقة عن الإشعاع النووي وعن إنتاج الطاقة الكهربائية من المواد المشعة التي تطلق أشعة جاما وجسيمات ألفا وجسيمات بيتا خلال نشاطها الإشعاعي للتحويل من مواد مشعة إلى مواد مستقرة، وكل نواة غير مستقرة تطلق هذه الإشعاعات التي نسميها بالأشعة النووية، ولعلنا

نسمع عن خطورتها التي تصل إلى درجة الدمار الشامل إذا تم استخدامها في تصنيع القنابل النووية وهذه الأشعة خطرناك للكانات الحية لأنها تحمل طاقة عالية جداً، ومن خلال قراءتك للموضوع السابق حول إنتاج الطاقة الكهربائية بواسطة



المفاعلات النووية لا بد وان لاحظت الكم الهائل من الحرارة التي تتولد من قطعة صغيرة من اليورانيوم-235 التي استخدمت في تحويل الماء إلى بخار لتحريك التوربينات.

وبرغم من كل هذا فإن الإشعاعات النووية تلعب دوراً كبيراً في الطب، وتستخدم في التشخيص وفي العلاج أيضاً، وتوجد في المستشفيات قسم خاص بالطب النووي يستخدم لعلاج الأمراض السرطانية وكثيراً ما يطلب الطبيب من المريض إجراء تصوير PET لتشخيص الحالة المرضية للمريض، هذا القسم بالكامل يعتمد على المواد المشعة والتي تسمى بالطب النووي nuclear medicine ويستخدم فيه المواد المشعة لتصوير الأعضاء الداخلية لجسم الإنسان وأنواع أخرى تستخدم للعلاج.



جهاز PET في احد المستشفيات



وفي هذا الموضوع من كيف تعمل الأشياء سوف نقوم بشرح فكرة عمل أجهزة الطب النووي وسوف نعرف كيف تستخدم المواد المشعة لرؤية الأعضاء الداخلية في جسم الإنسان في حين تعجز الأجهزة الأخرى عن القيام بهذا الدور ومن جانب آخر سوف نتحدث عن أساليب العلاج بواسطة المواد المشعة وفكرة عملها.

### تاريخ الطب النووي

يعود الفضل في نشأة الطب النووي إلى اختراع السيكلترون cyclotron بواسطة العالم ايرنست أورلاندو لورانس Ernest Orlando Lawrence. والذي كان يعمل في جامعة بيركلي في ولاية كاليفورنيا الأمريكية في العام 1928 كفيزيائي نووي. وفي العام 1930 تمكن لورنس من بناء أول سيكلترون يعمل على تعجيل المواد المشحونة بفرق جهد يصل إلى مليون فولت. والشكل أدناه



*Ernest Lawrence*

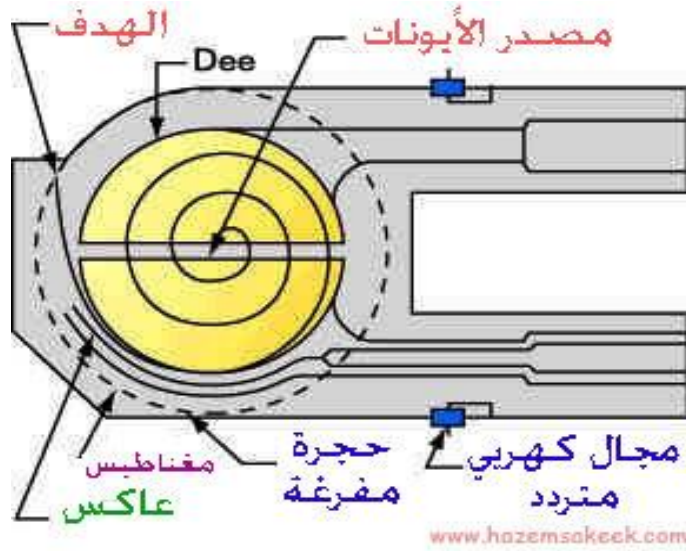
يوضح جهاز السيكلترون الذي اخترعه ارنست وفكرة عمل هذا الجهاز تعتمد على استخدام المجال الكهربائي المتردد بين التجويفين على شكل حرف D والظاهران باللون الأصفر Dee لتعجيل الايونات، ويعتمد أيضا على استخدام مجال مغناطيسي





لجعل مسار الايونات المعجلة تأخذ مساراً دائرياً.

استخدم السيكلترون في تعجيل الجسيمات المشحونة مثل البروتونات وأنوية بعض العناصر إلى سرعات كبيرة جداً ثم توجيهها إلى ذرات عناصر أخرى لتؤثر الجسيمات المعجلة على انوية تلك العناصر وتدخل في تركيبها النووي فتتحول إلى مواد مشعة وبهذا يمكن تصنيع مواد مشعة غير تلك الموجودة في الطبيعة والتي يمكن بهذه الطريقة تشعيع مواد ذات أعمار نصف صغيرة تتراوح بين الدقائق أو ساعات محدودة وهذا مكن العلماء من استخدامه في العديد من التجارب البيولوجية التي لن يكون لها الأثر القاتل للمواد المشعة الطبيعية التي يصل عمر النصف فيها إلى ملايين السنوات.



السيكلترون المستخدم في تعجيل الجسيمات المشحونة لاستخدامها في تشعيع العناصر المستخدمة في الطب النووي



كان للورنس أخ يدرس الطب اسمه جون متخصص في استخدام الأشعة النووية في علاج الأورام السرطانية والقضاء عليها، وكان أول من استخدم جهاز السيكلترون في قذف انوية الفوسفور المعجل بواسطة السيكلترون على فئران مصابة بالسرطان وقد اكتشف بعد ساعات تحسن طراً عليها. وفي العام 1935 قام جون باستخدام النيوترونات في بعض تجاربه الطبية ولكنه وجد ان تلك النيوترونات تسبب خطورة كبيرة على الكائن الحية تفوق أشعة اكس في ذلك الوقت بخمس مرات مما دفع أصحاب القرار إلى منعه من مواصلة أبحاثه في هذا المجال ولكن في العام 1937 شاءت الظروف ان تصاب والدته بمرض السرطان واخبرها الأطباء بان أمامها بضعة أيام للعيش. فما كان من جون وأخيه ان قررا اخذ والدتهم إلى احد المصحات التي سمح لهما فيها باستخدام فكرة العلاج بالنظائر المشعة للقضاء على السرطان وبالفعل كللت محاولتهم بالنجاح وكتب لوالدتهم ان عاشت 15 عاماً.



العالمان ارنيست "الذي يعمل على الجهاز" وجون "الذي على يساره" في مختبر أبحاثهما



**John Lawrence**

سجل اكبر نجاح للعلاج بواسطة النظائر المشعة في العام 1939 عندما استخدم الفوسفور-32 لعلاج مرض البوليثيا الذي يسبب خلل في الدم بزيادة كبيرة في كريات الدم الحمراء. وتوالت النجاحات بعد ذلك ففي العام 1946 استخدم الأيودين-131 لمنع أنواع معينة من السرطان من النمو كما تم استخدام هذا العنصر- في التصوير للأجزاء الداخلية لجسم



الإنسان ليدخل بعده الطب مرحلة جديدة هي مرحلة الطب النووي.

وللعلم حصل العالم ارنيست على جائزة نوبل لاكتشافه السيكلترون في العام 1939 والتي استخدمت في تعجيل البروتونات للحصول على نظائر مشعة صناعية، كما حصل العالم جون على جائزة فيرمي في العام 1983 على أعماله البارعة التي أهلتها ليكون قائد الطب النووي.

### التصوير في الطب النووي

من المشاكل الرئيسية للحصول على صور لجسم الإنسان وخصوصا الأعضاء الداخلية مثل القلب والدماغ والكلية والكبد هي ان جسم الإنسان لا يمر عبره الضوء مثل الزجاج والماء. وإذا تطلب الأمر تشخيص دقيق لمرض يصيب تلك الأعضاء كان يتطلب إجراء عملية جراحية لمعرفة ماذا أصاب جسم الإنسان. ولكن في أيامنا هذه وبفضل الله علينا تمكن العلماء الفيزيائيين من استخدام العديد من التقنيات التي لا تتطلب عملية جراحية والتي تعرف بتقنيات التشخيص عن بعد non-invasive مثل استخدام أشعة اكس واستخدام الرنين المغناطيسي- واستخدام الأمواج فوق الصوتية وأجهزة التصوير المقطعية والتي قد تحدثنا عنها بالتفصيل في مقالات سابقة. وبالطبع لكل من هذه التقنيات مزاياه وعيوبه التي جعلت لكل تقنية أفضلية في توجيهها لمنطقة محددة من جسم الإنسان للحصول على أفضل وأدق النتائج.



أما التصوير باستخدام تقنيات الطب النووي فهي تعطي للطبيب وسيلة للنظر داخل جسم الإنسان، مستخدماً المواد المشعة والكواشف الخاصة لها وأجهزة الكمبيوتر المتطورة وتعتمد طرق التصوير النووي على التقنيات العلمية التالية:

(1) إشعاع البوزيترون الطبقي (PET) Positron emission tomography

(2) الإشعاع الفوتوني المقطعي (SPECT) Single photon emission computed tomography

(3) تصوير جهاز الدورة الدموية Cardiovascular imaging

(4) أجهزة مسح العظام Bone scanning

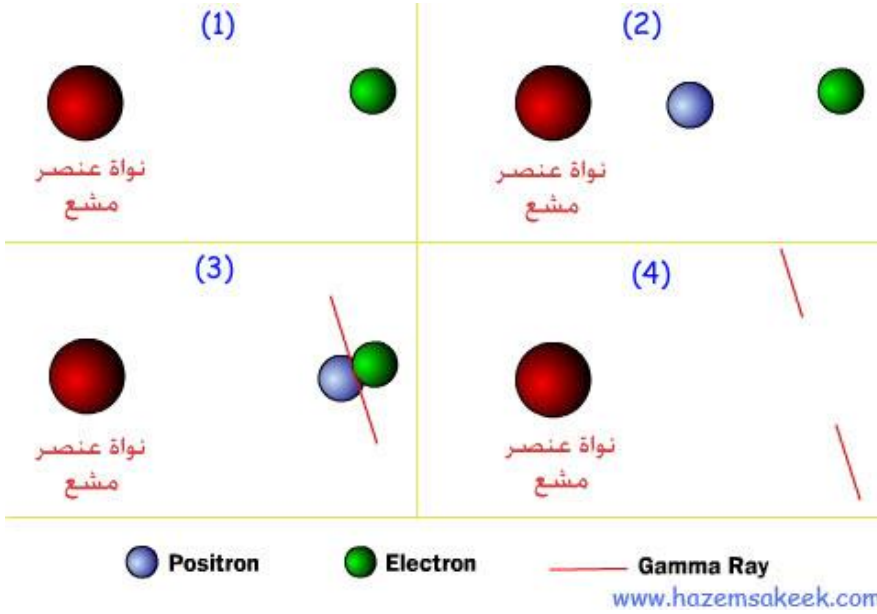
تستخدم تلك التقنيات الأربعة خصائص مختلفة للعناصر المشعة للحصول على الصور وللعلم فإنه تعتبر الطريقة الأمثل للحصول على صور للأورام السرطانية tumors وللناطق الضعيفة في الأوردة الدموية aneurysms واكتشاف العجز في تدفق الدم في أغشية جسم الإنسان thyroid وكذلك الخلل الذي قد يصيب الرئتين pulmonary function deficiencies.

وبناء على الحالة المرضية فإن الطبيب قد يوجه المريض للحصول على فحص يعتمد على أي من التقنيات الأربعة السابقة وأحياناً يتطلب التشخيص استخدام أكثر من تقنية. وسوف نشرح فكرة عمل كل تقنية من هذه التقنيات



## اشعاع البوزيترون الطبقي (PET) Positron emission tomography

يمكن باستخدام تقنية إشعاع البوزيترون الطبقي PET الحصول على صورة لحسم الإنسان من خلال التقاط الإشعاع الذي يصدر عن المواد المشعة التي يحقن بها جسم المريض والتي تكون إما كاربون-11 أو فلورين-18 أو أكسجين-15 أو نيتروجين-13، وكل هذه العناصر مواد مشعة لها عمر نصف قصير جداً. ويتم الحصول على هذه المواد المشعة من خلال تسليط نيوترونات معجلة على ذرات تلك العناصر لتصبح مشعة ولفترة زمنية قصيرة. عند حقن جسم الإنسان بتلك العناصر المشعة التي جهزت بواسطة معجل السيكلترون فإنها تطلق جسيمات تسمى البوزيترون وهذا البوزيترون هو جسيم أولي له نفس كتلة الإلكترون ولكن يحمل شحنة الإلكترون ولكن موجبة. البوزيترون جسيم موجب يتحد مع إلكترون في جسم الإنسان وينطلق عن هذا الاتحاد فوتونين كل فوتون عبارة عن أشعة جاما والتي تستخدم للحصول على الصورة كما سيتم شرحه من خلال كاميرات خاصة تسمى كاميرا جاما Gamma Camera.



يوضح الشكل مراحل اتحاد البوزيترون مع الإلكترون لإطلاق فوتونين جاما

(1) يوجد في جسم الإنسان العنصر المشع الذي حقن به ويوجد إلكترون من ذرات جسم الإنسان بالقرب من نواة العنصر المشع.

(2) تطلق نواة العنصر المشع البوزيترون

(3) يتحد البوزيترون مع الإلكترون

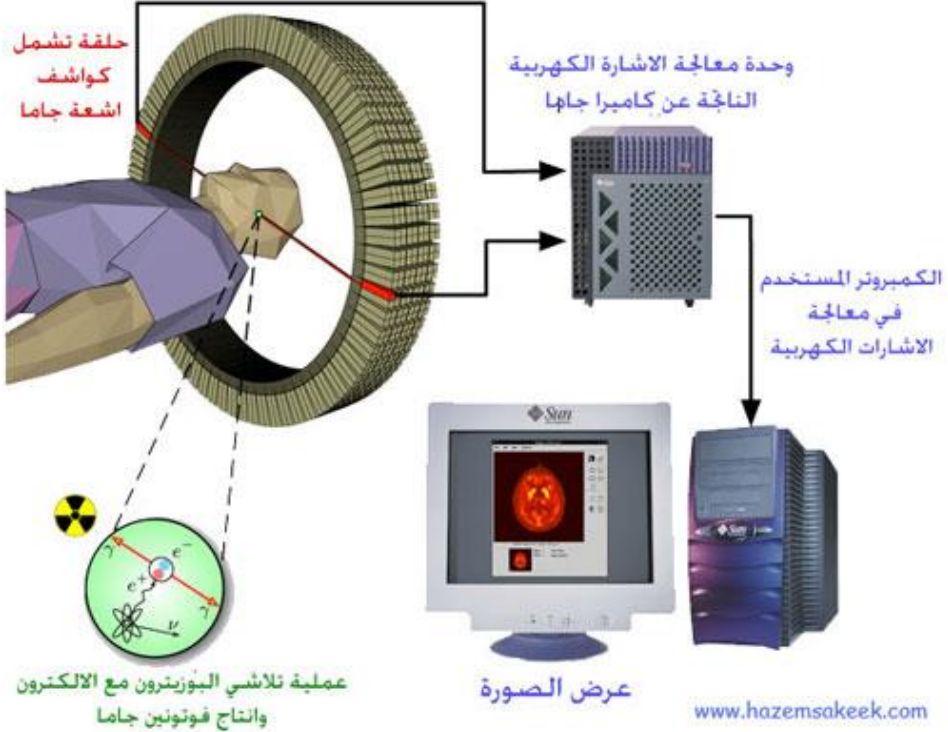
(4) يتلاشى الإلكترون والبوزيترون وتتحول كتلتها إلى طاقة يحملها فوتونين بطاقة أشعة جاما



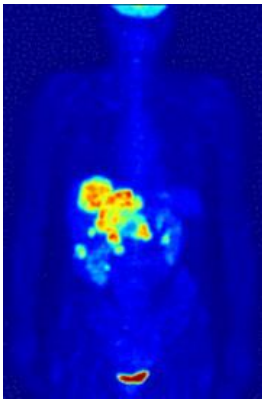
## كيف تتكون الصورة من فوتونات اشعة جاما؟

في تقنية التصوير باستخدام PET يتم حقن المريض بمادة مشعة ويتم وضعه على سرير خاص متحرك ليدخل في حلقة كما في الشكل المبين أدناه. وفي داخل هذه الحلقة يوجد كواشف أشعة جاما والتي تعرف باسم كاميرا جاما، وتتكون هذه الكواشف من سلسلة من بلورات خاصة تعرف باسم scintillation crystals كل بلورة متصلة مع مكبر فوتوني يعرف باسم photomultiplier tube وتعمل البلورات على تحويل أشعة جاما المنطلقة من جسم الإنسان إلى فوتونات ضوئية يتم تحويل الفوتونات الضوئية إلى الكترونات عندما تستقبل بواسطة المكبر الفوتوني والتي تعمل على تكبيرها آلاف المرات لتشكيل إشارة كهربائية. هذه الإشارات الكهربائية تعالج بواسطة الكمبيوتر لتكون الصورة. ويتحرك السرير ببطء ليتم التقاط إشارات أخرى وتأخذ صور لكل جزء من الجسم حسب حركة السرير داخل الحلقة. وبهذه الطريقة يحصل الطبيب على مسح كامل للمنطقة المحددة من جسم الإنسان مثل الدماغ أو الصدر أو الكبد. يتم تجميع هذه الصور الطبقيّة في ذاكرة الكمبيوتر والذي يقوم بمعالجتها وتحويلها إلى صور ثلاثية الأبعاد.





## مخطط يوضح فكرة عمل كاميرا جاما المستخدمة في التصوير بتقنية PET



توفر صور ال-PET معلومات في غاية الأهمية عن تدفق الدم في الأوعية الدموية بالإضافة إلى معلومات عن العديد من الوظائف البيوكيميائية التي تحدث في الجسم. ويمكن تحديد المنطقة المراد تصويرها أو العملية البيوكيميائية بدقة من خلال اختيار المادة المشعة التي تحقن للمريض. فعلى سبيل المثال يمكن بواسطة ال-PET الحصول على صور لعملية احتراق الجلوكوز في الدماغ أو



أي تغيرات سريعة تحدث خلال الأنشطة المختلفة التي تقوم بها أعضاء الجسم.

توضح الصورة الجانبية صورة للأعضاء الداخلية لجسم الإنسان وتعرض الصورة على شاشة كمبيوتر الجهاز في الأبعاد الثلاثة.

وعلى كل حال أماكن تواجد هذه الأجهزة التي تعمل بتقنية ال-PET محدودة ونطاق انتشارها قليل في الكثير من الدول لأنه يتطلب بناء مراكز خاصة لها بالقرب من المعجلات النووية لتوفير المواد المشعة التي لها عمر نصف صغير.

### الاشعاع الفوتوني المقطعي Single photon emission computed tomography (SPECT)





تشبه تقنية الإشعاع الفوتوني المقطعي SPECT تقنية إشعاع البوزيترون الطبقي PET ولكن تستخدم في عملية التصوير عناصر مشعة مختلفة مثل الزينون-133 والتكنيتيوم-99 والايودين-123 والتي لها أعمار نصف أطول من تلك المستخدمة في التقنية السابقة الذكر. كما إنها تطلق شعاع جاما واحد بدلاً من شعاعين كما في PET. توفر تقنية SPECT معلومات حول تدفق الدم من خلال الصور المأخوذة بهذه التقنية وفي الغالب تكون اقل معلومات ولكن تكلفتها اقل بكثير من تلك المأخوذة بواسطة PET. وأماكن تواجد الأجهزة التي تعمل بتلك التقنية متوفرة أكثر لأنه لا يتطلب وجودها بالقرب من المعجلات النووية.

### تصوير جهاز الدورة الدموية Cardiovascular imaging

تستخدم تقنية تصوير الدورة الدموية للحصول على منحنيات عن تدفق الدم بين القلب والشرايين والأوردة في داخل جسم الإنسان. وفي هذه التقنية يقوم الطبيب المختص بحقن المريض بمركب الثاليوم المشع بينما يمارس المريض الجري على جهاز رياضي ويتم تصوير باستخدام أشعة جاما الصادرة عن انحلال عنصر- الثاليوم بواسطة كاميرا جاما. وبعد ذلك يأخذ المريض فترة راحة لدراسة معدل النبض بدون أي مجهود على القلب. ومن الصور التي تم الحصول عليها قبل التمرين وبعده يمكن معرفة التغير في تدفق الدم في الحالتين، وبهذا الفحص يستطيع الطبيب معرفة العوائق التي قد تكون موجودة في الشرايين والأوعية أو حتى في عضلة القلب نفسه.



## اجهزة مسح العظام Bone scanning

في بعض الفحوصات يتم حقن المريض بمادة خاصة تعرف باسم technetium-pp methyldiphosphate والتي يتم تحتوي على الفوسفات التي تتجه إلى العظام في جسم الإنسان خصوصاً تلك المناطق التي يكون فيها نشاط غير طبيعي. والصور الناتجة تعطي بقع مضيئة لاماكن التي تكثر فيها تلك المناطق وتعطي بقع داكنة للمناطق التي تحتوي على نشاط عادي. وبهذا يمكن مسح شامل للهيكل العظمي في الجسم وإذا ما كان هناك أي اثر لورم سرطاني لا سمح الله.

## العلاج في الطب النووي

في الفحوصات التي تستخدم العناصر المشعة في الطب النووي لا تعتبر ضارة لجسم الإنسان لان عمر بقائها في الجسم قصير يصل لبعض الدقائق وفي بعض الأحيان ساعات محدودة وتعتبر خطورة التصوير بهذه الوسائل السابقة الذكر اقل خطورة من الأجهزة التي تستخدم أشعة اكس مثل جهاز التصوير المقطعي CT ويتخلص جسم الإنسان من هذه المواد عن طريق البول.

المهم في هذا الموضوع هو ان بعض الخلايا تتأثر بشدة بالإشعاعات المؤينة مثل أشعة جاما وبيتا والفا وأشعة اكس. وحيث ان الخلايا الحية تنقسم بمعدلات مختلفة فإن الخلايا التي تنقسم بمعدلات عالية تتأثر أكثر بالأشعة من الخلايا التي تنقسم بمعدلات طبيعية وهذا يعود إلى الخاصيتين التاليتين:



(1) الخلايا تتمتع بقدرة على إصلاح أية إصابة في الـ DNA

(2) اكتشفت الخلية ان الـ DNA قد أصيب بالأشعة أثناء الانقسام فإن الخلية تدمر نفسها.

وبهذا فإن الخلايا التي تنقسم بسرعة لا تمتلك الوقت الكافي لإصلاح الضرر في الـ DNA وبالتالي فإن فإنها تموت فوراً عندما تتعرض للإشعاعات النووية.

وبما ان الخلايا السرطانية تمتلك خاصية الانقسام بسرعة كبيرة فإنها عندما تتعرض إلى جرعات من المواد المشعة فإنها تعمل على قتلها وبهذا فإن تعريض الأجزاء المصابة بالخلايا السرطانية في جسم الإنسان إلى الإشعاعات النووية يعتبر نوع من العلاج. حيث يتم تثبيت المواد المشعة في صورة أسلاك رفيعة بجوار المناطق المصابة ولكن في المناطق العميقة التي قد تكون مصابة يتم تسليط أشعة اكس بتركيز عالي عليها.

وتكمن المشكلة في هذه الطريقة من العلاج إلى تعرض الخلايا السليمة التي تنقسم بسرعة في جسم الإنسان للموت بسبب تواجد تلك الإشعاعات مثل خلايا الشعر وخلايا المعدة خلايا الجلد وخلايا الأوعية الدموية ولهذا تتعرض تلك الخلايا السليمة لأشعة وتصيبها عند محاولة القضاء على الخلايا السرطانية. ولهذا نجد ان المرضى الذين يتعرضوا لجرعات من المواد المشعة كعلاج يحدث تساقط للشعر ويصابوا بالصلع.



وفي النهاية لا شك ان التطور العلمي مستمر فجهود العلماء في مختلف التخصصات مكنتهم من التوصل إلى وجود هذه الأجهزة التي سخرت من أجل خدمة الإنسان، فالتقنيات التي شرحت في هذا المقال ساهمت ولا شك في اكتشاف الإصابة بالأمراض المستعصية قبل انتشارها في جسم الإنسان وبدونها لما كان بالإمكان اكتشاف تلك الخلايا السرطانية إلا بعد فوات الأوان لا قدر الله.



## المسح الطبقي بواسطة انبعاث البوزيترونات □

### Positron Emission Tomography (PET) Scanning



سبق وان تحدثنا في موضوع متكامل عن الطب النووي وتعرضنا في ذلك المقال عن تقنيات الطب النووي وكيف يعمل وفي هذا الموضوع من كيف تعمل الأشياء سوف نقوم بشرح مبسط لتقنية المسح

الطبيقي بواسطة انبعاث البوزيترونات والتي تعرف باسم PET.

#### ما هو المسح الطبقي بواسطة انبعاث البوزيترونات PET؟

تقنية المسح الطبقي بواسطة انبعاث البوزيترونات هي ترجمة لـ Positron Emission Tomography وتعرف أكثر باختصارها PET. وأحيانا تسمع الأطباء يقولون مسح PET أو صورة PET وهذا نوع من أنواع التصوير المستخدم في الطب النووي. حيث إن الطب النووي احد أفرع الطب التي تعتمد على العلاج الإشعاعي حيث يتم استخدام جز بسيط من المواد المشعة في التشخيص أو في العلاج من بعض الأمراض التي تحدث تطورات غير طبيعية في جسم الإنسان.



تصوير جسم الإنسان بواسطة المواد المشعة يعتبر من الفحوصات الطبية التي يعتمد عليها الأطباء في تشخيص الحالة المرضية والمواد المستخدمة في عملية التصوير تعرف باسم radiotracer أو radiopharmaceutical.

وطبقا لنوع الفحص الطبي النووي الذي يقوم به المريض فان نوعا محددًا من المواد المشعة radiotracer يحقن في الوريد أو يتناوله المريض عن طريق الفم أو في بعض الحالات يستنشق عبر الأنف، وفي النهاية يتجمع في المنطقة المراد فحصها، حيث تصدر هذه المواد طاقة تحملها أشعة جاما. هذه الطاقة يتم رصدها بواسطة أجهزة خاصة تعرف باسم كاميرا جاما gamma camera، ومجس أو ماسح PET. هذه الأجهزة تعمل مع بعضها البعض ويتحكم بها كمبيوتر لقياس كمية المواد المشعة التي امتصها الجسم لتمكن بعدها من تكوين الصورة بتفاصيل دقيقة عن تركيب الأعضاء الداخلية للجسم ووظائفها.

في بعض المراكز المتخصصة في الطب النووي يتم الدمج بينها وبين تقنيات أخرى مثل التصوير المقطعي الطبقي CT computed tomography أو مع التصوير بالرنين المغناطيسي MRI magnetic resonance imaging للحصول على المزيد من المعلومات لإجراء فحوصات دقيقة من عملية المقارنة والتحليل والتفسير والربط بين الصور الناتجة عن التقنيات المختلفة. وهذا بالتأكيد يقود إلى الحصول على معلومات واضحة ويجعل عملية التشخيص أكثر دقة.

فحص PET يقيس وظائف الجسم المهمة مثل تدفق الدم ومقدار الأكسجين





والسكر (الجليكوز) المستخدم في عمليات الايض metabolism، وهذه معلومات في غاية الأهمية تمكن الطبيب من تقييم جسم الإنسان وقياس وظائف الأعضاء والأنسجة المستولة عن ذلك في جسم الإنسان.

### ما هي الاستخدامات الشائعة للـ PET؟

- (1) تستخدم تقنية مسح PET في
- (2) الكشف عن الخلايا السرطانية.
- (3) تحديد مقدار انتشار الخلايا السرطانية في جسم الإنسان
- (4) مساعدة الطبيب في وضع خطة فعالة لعلاج السرطان
- (5) معرفة ما إذا كان السرطان قد عاد للجسم مرة أخرى بعد مرحلة العلاج
- (6) تحديد مقدار تدفق الدم في عضلة القلب
- (7) تحديد سبب حدوث النوبة القلبية
- (8) تحديد المناطق في عضلة القلب التي سوف تستفيد من عملية القسطرة للشريان التاجي
- (9) تحديد النشاط الغير طبيعي للدماغ مثل الكشف عن الأورام أو مشاكل في الذاكرة أو أي مشاكل تخص الجهاز العصبي



(10) تستخدم أيضا لرسم لدماع الإنسان الطبيعي وفحص وظيفة القلب.

ما هي الخطوات الواجب اتخاذها للاستعداد والتجهيز لفحص PET؟

(1) من الممكن أن يطلب من المريض قبل أن يدخل في إجراءات فحص PET أن يرتدي معطف خاص ومن الممكن أن يسمح له بان يدخل الفحص بملابسه العادية.

(2) يجب على المريض أن يخبر الطبيب بأي أدوية يتناولها حتى لو كانت فيتامينات أو أعشاب طبيعية أو مكملات غذائية. كذلك إذا كان لديه حساسية من أي نوع. ويجب أن يخبر الطبيب بأي مرض حديث أصيب به ويطلع به بتفاصيل حالته الصحية.

(3) التخلص من المجوهرات والكماليات قبل الفحص حيث إنها من الممكن أن يؤثر على نتائج الفحص.

(4) في العادة يعطى المريض تعليمات محددة حسب نوع الفحص الذي سيخضع له، كما إن مرضى السكر يكون لهم تعليمات خاصة يجب التحضير لها قبل الفحص.

كيف تبدو الأجهزة والمعدات؟

يشبه جهاز التصوير الطبقي بانبعث البوزيترونات PET في الشكل جهاز التصوير



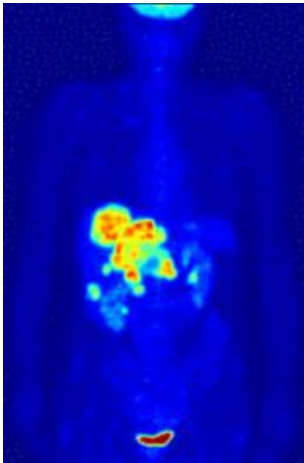
الطبقي الذي يستخدم أشعة اكس والمعروف باسم CT. ويكون داخل الحلقة عدد من أجهزة رصد أشعة جاما الصادرة عن المواد المشعة التي حقن بها المريض.

كما يوجد جهاز كمبيوتر يقوم بتكوين الصورة من البيانات التي يحصل عليها من أجهزة الرصد (كاميرا جاما).



### كيف تتم عملية الفحص PET؟

في الفحوصات التي تتم باستخدام أشعة اكس يتم الحصول على الصورة عن طريق مرور أشعة اكس من مصدر خارج جسم الإنسان. أما في التصوير باستخدام الطب النووي فان الفحص يبدأ بإعطاء المريض جرعة محددة من المادة المشعة والتي تتجه إلى العضو في جسم الإنسان المراد فحصه، تصدر المواد المشعة أشعة جاما. تقوم كاميرا جاما بالنقاط هذه





الأشعة وتحولها إلى إشارة كهربية يستقبلها الكمبيوتر ويحللها ويكون الصورة. وللعلم فإن الصورة التي نحصل عليها من PET لا تكون واضحة المعالم بالمقارنة بالصور التي تنتجها أجهزة أشعة اكس حيث تعبر الصورة عن التغيرات في النشاط الكيميائي لجسم الإنسان والمناطق في الصورة التي تحتوي على بقع مضيئة تسمى hot spot تشير إلى كمية كبيرة من المواد المشعة في هذا المكان من جسم الإنسان حيث يكون النشاط الكيميائي اكبر ما يمكن. والمناطق الأقل نشاطا تظهر كبقع باردة cold spots وتشير إلى كمية قليلة من المواد المشعة في ذلك المكان ونشاط كيميائي اقل.

### من الذي يقوم بقراءة نتائج الفحص؟

أخصائي الأشعة المتخصص والمتدرب في مجال الطب النووي يقوم بتفسير الصور وإرسال التقرير للطبيب المختص.

### ما هي فوائد ومخاطر تقنية PET

لنبدأ أولاً بالفوائد

(1) المعلومات التي يحصل عليها الطبيب من فحوصات الطب النووي فريدة وغالبا لا يمكن الحصول عليها بتقنيات أخرى.

(2) للكثير من الأمراض التشخيص بالطب النووي يعطي أفضل المعلومات التي يحتاج إليها الطبيب ليحدد العلاج المناسب.



- (3) لا يشعر المريض المعالج بالطب النووي بألم مقارنة بالعمليات الجراحية البديلة.
- (4) من خلال التعرف على التغيرات في الجسم على مستوى الخلية، فإن صور ال PET تكشف المرض في بداياته قبل أن يكشفه أي فحص آخر مثل ال CT أو MRI.

### ثانياً المخاطر

- (1) تعتبر جرعة المواد المشعة التي يحقن بها المريض صغيرة نسبياً ولا تعرضه لخطر يذكر بالمقارنة بالفوائد التي يحصل عليها.
- (2) الطب النووي يستخدم منذ أكثر من 50 عاماً ولهذا تم التحقق من عدم وجود آثار جانبية على المدى البعيد نتيجة الجرعة البسيطة من المواد المشعة التي تناولها.
- (3) من الممكن أن يكون هناك نوع من الحساسية في جسم بعض الأشخاص للمواد المشعة ولكن هذه تعتبر حالات نادرة جداً.
- (4) حقن الجسم بالمواد المشعة قد يسبب آلام مؤقتة.
- (5) يجب على المرأة الحامل أو المرضعة أخبار الطبيب بذلك قبل أن يتخذ قراره بإجراء فحص PET.

### ما هي عيوب فحص PET؟

- (1) كثرة الاستعدادات المتعلقة بالطب النووي تستنزف الكثير من الوقت، وذلك



لان وصول المادة المشعة للجزء المراد فحصه وتصويره قد يأخذ في بعض الأحيان ساعات وأحيانا أخرى يتوجب الانتظار لأيام.

(2) القدرة التحليلية للصور التي أخذت بتقنيات الطب النووي اقل من التقنيات الأخرى مثل الـ CT و MRI. ولكن المعلومات التي نحصل عليها من الطب النووي لا يمكن الوصول لها بأي تقنية تشخيص أخرى.

(3) المسح بتقنية PET يمكن أن يؤدي إلى نتائج مضللة في حالة أن يكون الاتزان الكيميائي في الجسم غير طبيعي بمعنى أن نتائج الفحوصات لمسح PET لشخص مصاب بمرض السكر أو لشخص تناول وجبة غذائية قبل الفحص بساعات معدودة فان النتائج سوف تتأثر بشدة بتغير مستوى السكر في الدم أو مستوى الأنسولين في الدم.

(4) بسبب الاضمحلال السريع للمواد المشعة فإنها ستكون مؤثرة لفترة محدودة من الزمن، ولهذا من المهم للمريض أن يكون متواجد في الموعد المحدد ليتناول المادة المشعة في الزمن المدرج والمخصص له. ولهذا فان أي وصول المريض متأخرا عن الموعد قد يطلب منه المتخصص حجز موعد آخر.



من إصدارات شبكة الفيزياء التعليمية

سلسلة تبسيط الفيزياء

# أجهزة التشخيص الطبية Medical Diagnostic equipment

الدكتور حازم فلاح سكيك

أستاذ الفيزياء المشارك  
في جامعة الأزهر - غزة



شبكة

الفيزياء التعليمية

[www.hazemsakeek.net](http://www.hazemsakeek.net)