

الفصل الثالث عشر النكليدات الإشعاعية والطب النووي

Radionuclides &
Nuclear Medicine

أهداف هذا الفصل

- التعرف على النكليدات المشعة المستخدمة في تشخيص الأورام أو معالجتها في الطب النووي
- دراسة طرائق التصوير في الطب النووي
 - التصوير الومضاني Scintigraphy
 - التصوير المقطعي الإصداري الأحادي الفوتون SPET
 - Single Photon Emission Tomography
 - التصوير المقطعي الإصداري الثنائي الفوتون PET
 - Positron Emission Tomography
 - Two Photon Emission Tomography
- المعالجة في الطب النووي Radiotherapy

تقني أو تعقب أثر التفاعلات الحيوية والفيزيولوجية

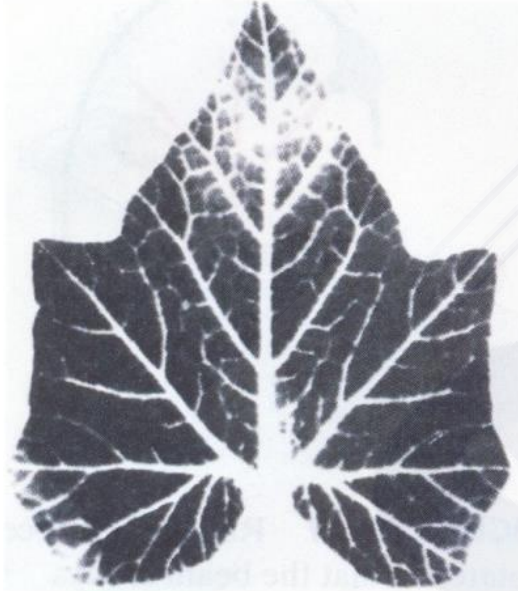
يشيع استخدام النكليدات أو النظائر ذات النشاطية الإشعاعية في البحوث الحيوية والطبية كقفاءات tracers تقني أثر التفاعلات الحيوية والفيزيولوجية.

يتم عملياً إدخال أحد النظائر المشعة كالكربون $^{14}_6C$ أو التريتيوم 3_1H في الجزيئات التي تحقن في الجسم.

إذ يمكن تعقب الجزيئات الموسومة في أثناء حركتها في العضوية أو عندما تخضع إلى تفاعلات كيميائية.

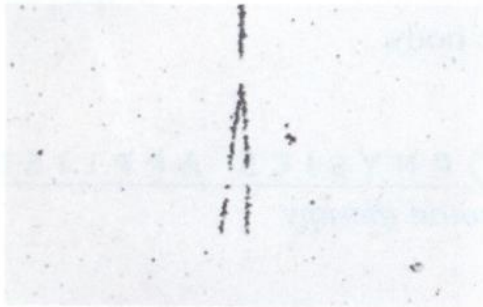
يمكن الكشف عن وجود هذه الجزيئات الموسومة (أو عن أجزاء منها إذا كانت تخضع لتحول كيميائي) بعدد غايغر Geiger أو بعدد مضاني .

التصوير الشعاعي الذاتي



(a)

مثال عن التصوير الشعاعي الذاتي
(a) صورة شعاعية ذاتية لورقة نباتية
تعرضت لـ $^{14}\text{CO}_2$ مدة ثلاثين ثانية.
(b) صورة تظهر انقسام الدنا



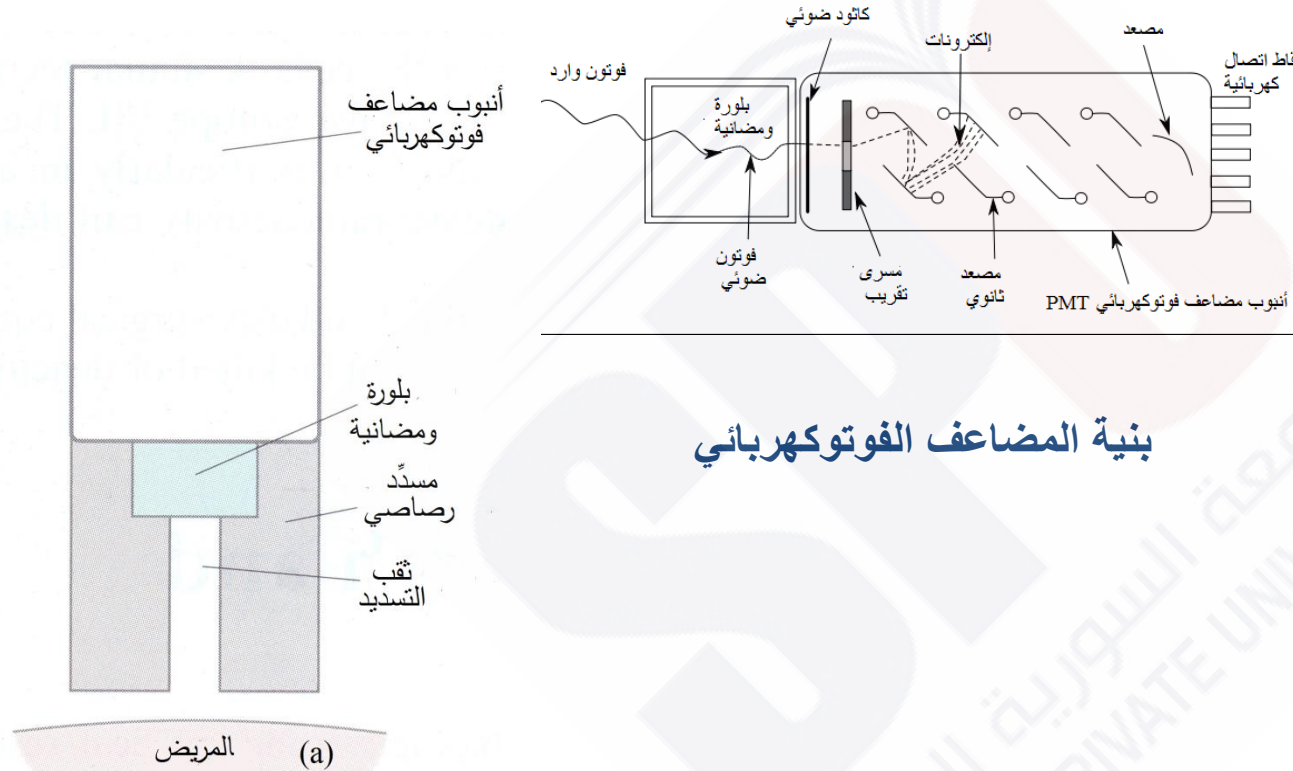
(b)

يتم الكشف عن الإشعاع الصادر
بعدد غايغر ملر أو بعدد
ومضائي.

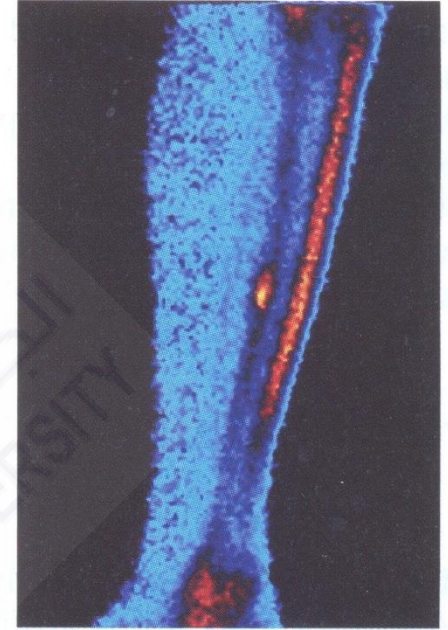
النكليدات الشائعة المستخدمة في التشخيص الطبي

- يشيع في التشخيص الطبي **medical diagnosis**
- استخدام النكليد الإشعاعي **radionuclide** المماكب $^{99m}_{43}Tc$ ، وهو التكنسيوم 99 الذي يتميز بحالة مثارة طويلة العمر والذي يتم الحصول عليه عندما يتفكك الموليبدن $^{99}_{42}Mo$.
- يتميز هذا النظير بملاءمة عمر نصفه الذي يبلغ 6 ساعات.
- يتميز بإمكانية اتحاده مع عدد كبير من المركبات التي تحقن في الجسم وتستقر في مكان الإصابة.

الكاشف المستخدم في تقنيات التشخيص الطبي



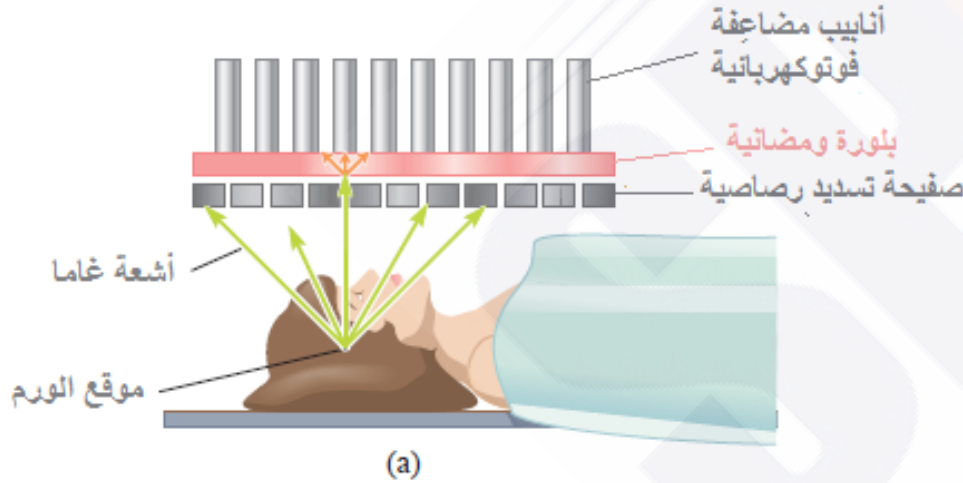
بنية المضاعف الفوتوكهربائي



(b)

(a) كاشف لأشعة غاما مسدد، يمسح به الجسم. (b) صورة بكاميرا غاما لساق تعاني كسر التعب بالكشف عن أشعة غاما الصادرة من $^{99m}_{43}\text{Tc}$ (الصورة بالألوان الاصطناعية).

كاميرا أنجيه والتصوير الومضاني



كاميرا أنجيه الغاماوية

التصوير الومضاني التشخيصي

- نحصل في التصوير الومضاني Scintigraphy على صور ثنائية البعد للجزء المصوّر من جسم المريض،
- يستخدم في الكشف عن الكسور بأنواعها والالتهابات العظمية وصولاً إلى سرطان العظم
- و في الكشف عن الحالات المرضيّة للشرابين الإكليلية ويسمح بتقييم الحالة الوظيفيّة للعضلة القلبية بشكلٍ عام، تستخدم فيه مادة دوائية موسومة بمماكب التكنسيوم ^{99m}Tc .
- وفي الكشف عن أورام الغدّة الدرقيّة، ويمكن في هذه الحالة استخدام ممّاكب التكنسيوم ^{99m}Tc ، أو اليود المشعّ ^{131}I .

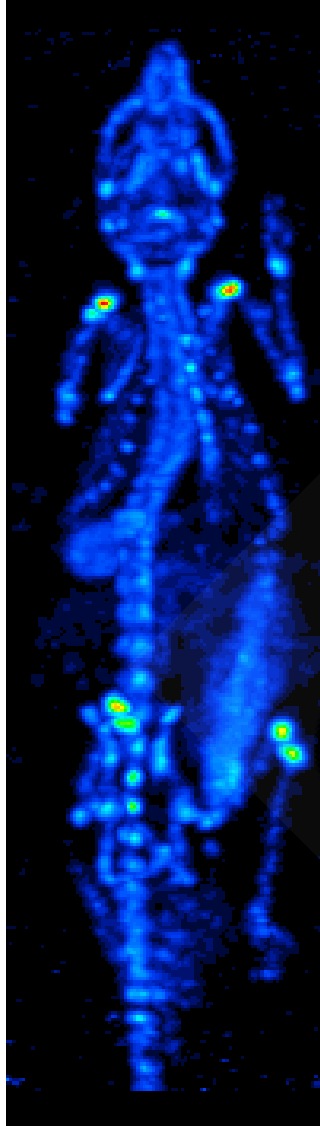
التصوير الومضاني التشخيصي



التصوير المقطعي المحوسب بالإصدار الأحادي الفوتون



جهاز ال-SPECT المزود برأسي كاميرا غاما للتصوير المقطعي لكامل الجسم (تشخيص أمراض العظام).



صورة لعظم فأر بطريقة التصوير
المقطعي الإصداري الأحادي الفوتون

SPECT Single Photon
Emission Computerized
Tomography

التصوير المقطعي المحوسب بالإصدار الأحادي الفوتون



التصوير المقطعي المحوسب بالإصدار الأحادي الفوتون

- تسمح تقانة الـ SPECT بمراقبة مستوى النشاط البيولوجي في كلّ موضعٍ من المنطقة المصوّرة،
- إذ تدلّ الإشعاعات الصادرة عن النظير المشع على مقدار تدفق الدم في الأوعية الشعريّة،
- وبما أنّ الصورة التي نحصل عليها باستخدام كاميرا غاما عبارة عن مسقط ببعدين لتوزّع النظير المشعّ في المنطقة المصوّرة، يجري أخذ عدد كبير من هذه الصور ذات البعدين (المساقط) من زوايا مختلفة،

التصوير المقطعي المحوسب بالإصدار الأحادي الفوتون

- يستخدم الحاسوب لبناء الصورة ثلاثية البعد باستخدام برمجيات خاصة لذلك.
- نرى هنا التشابه بين هذه التقنيّة وتقنيّات التصوير الأخرى كالتصوير بالتجاوب المغنطيسي MRI (الفصل 22)
- أو التصوير الطبقي المحوري بالأشعة السينية X-ray CT (الفصل 5)،
- وكذلك التصوير بالإصدار البوزيتروني PET (الفقرة التالية)، إذ تُعالج المعطيات المتضمّنة في الصور المقطعيّة للتمكّن من رؤية تفاصيل مقاطع رقيقة على طول المحور المصوّر لجسم المريض.

ضرورات التصوير المقطعي الأحادي الفوتون

- عندما لا يكون التصوير الومضاني كافياً
- تصوير تروية العضلة القلبية
- تصوير الدماغ الوظيفي الخ

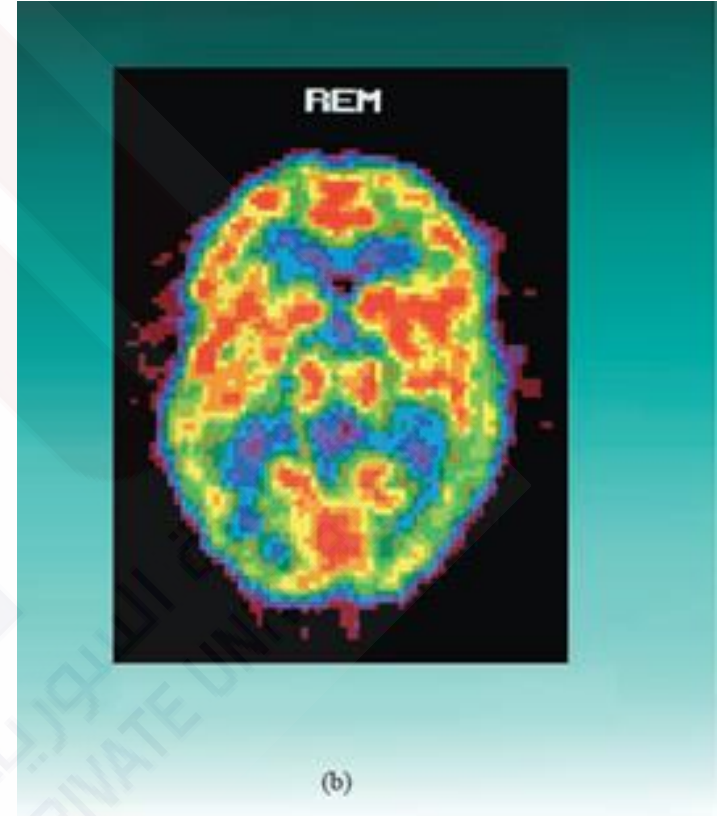
التصوير المقطعي بالإصدار البوزتروني أو الثنائي الفوتون

- تستخدم مجموعة من النظائر المشعة مصدرة للبوزترونات ذات أعمار نصف قصيرة نسبياً
- كالكاربون 11 (20min) والأكسجين 15 (2min) ، والفلور 18 (110min) ، والأزوت 13 (10min) ،
- يجري تضمين هذه النظائر المشعة في مركبات يستهلكها جسم الإنسان كالغلوكوز والماء.

التصوير المقطعي بالإصدار البوزتروني أو الثنائي الفوتون

- في معظم حالات التصوير المقطعي بالإصدار البوزتروني يُستخدم الـ الديوكسي غلوكوز الموسوم بالفلور 18 FDG fluorodeoxyglucose
- وهو جزيء شبيه السكر الموسوم بالمصدر البوزتروني ^{18}F ، لحقن المريض قبل إجراء التصوير، ويدلّ توزّع النظير المشعّ ^{18}F ، في المنطقة المصوّرة على نشاط النسيج الاستقلابي بالاعتماد على امتصاص هذا النسيج لمادة الغلوكوز.

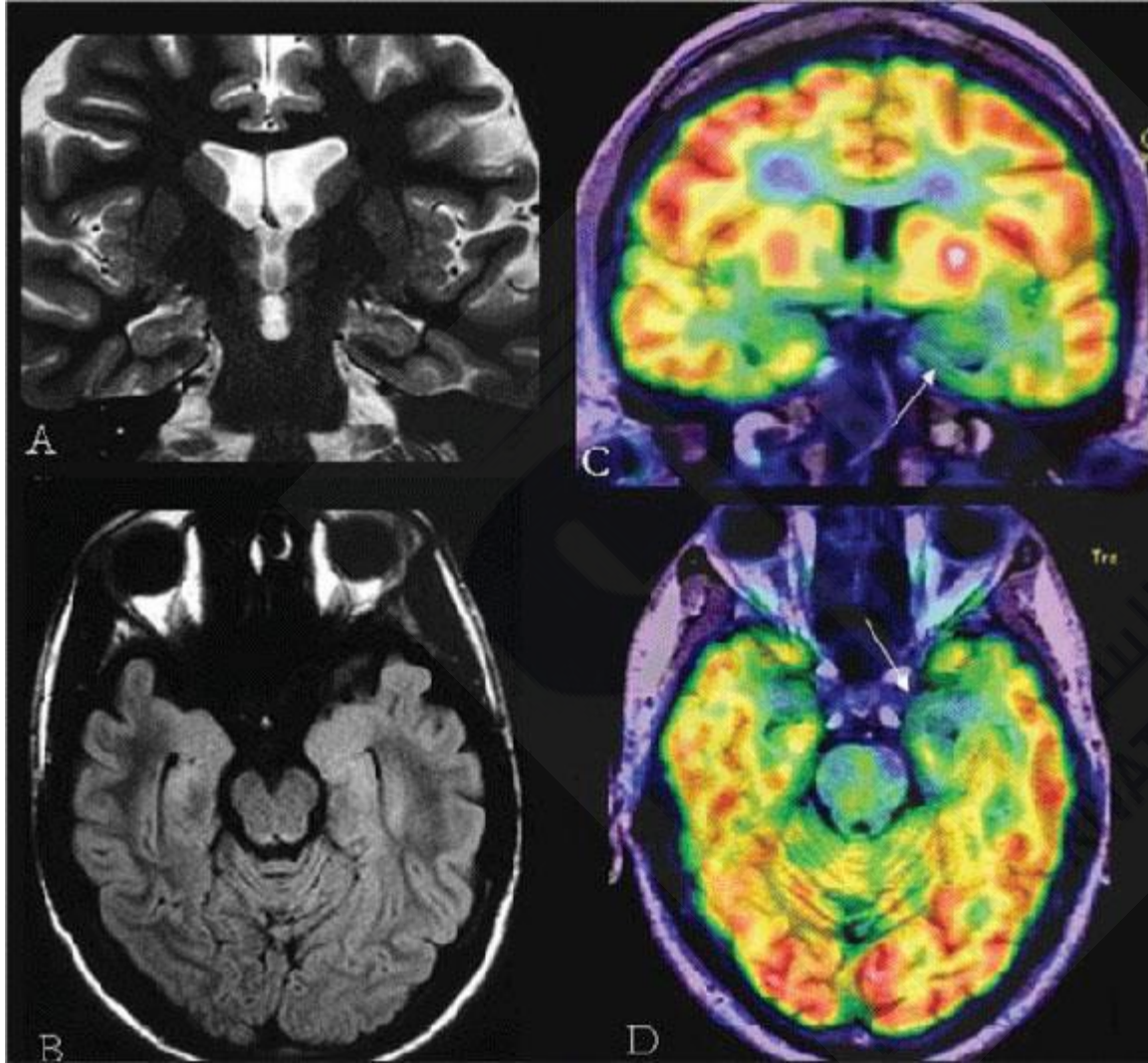
التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني أو الثنائي الفوتون



يستخدم التصوير المقطعي البوزيتروني حلقة من الكواشف الومضائية في الحالة النموذجية مقترنة بمضاعفات فوتوكهربائية في الكشف عن شعاعي الفناء البوزيتروني $e^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$ الصادرين في اتجاهين متعاكسين.

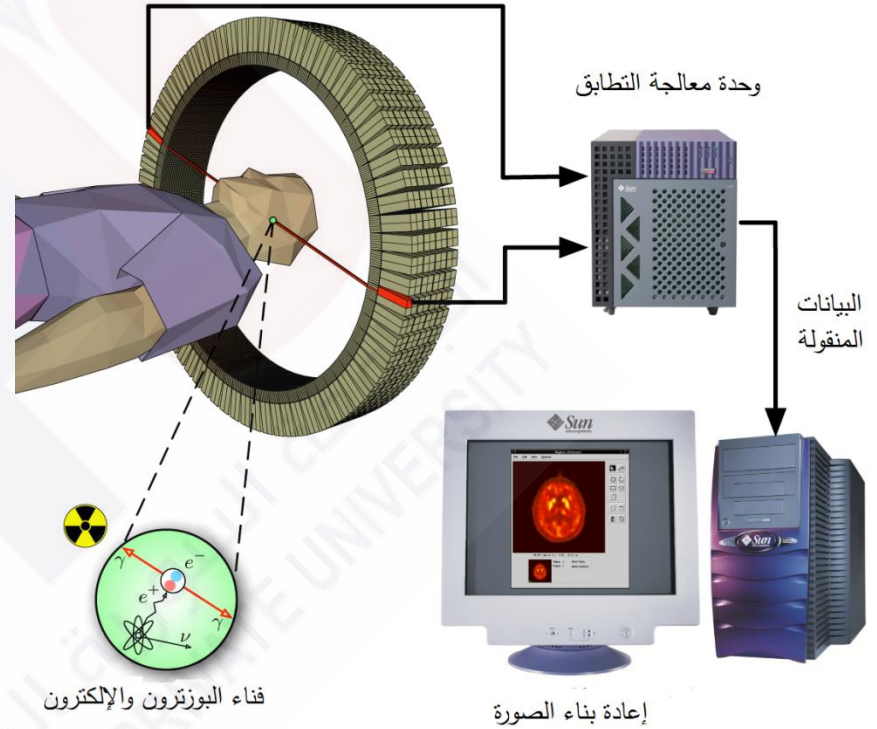
توزع نظير المصدر للبوزيترونات في الدماغ، والحصول على صورة وظيفية.

صورتان بالرنين المغناطيسي (إلى اليسار) لشخص مصاب بالصرع باستخدام تعاقبين مختلفين من تعاقبات نبضات التواتر الراديوي المستخدمة في الرنين المغناطيسي، لم يظهر فيهما أي تغير.

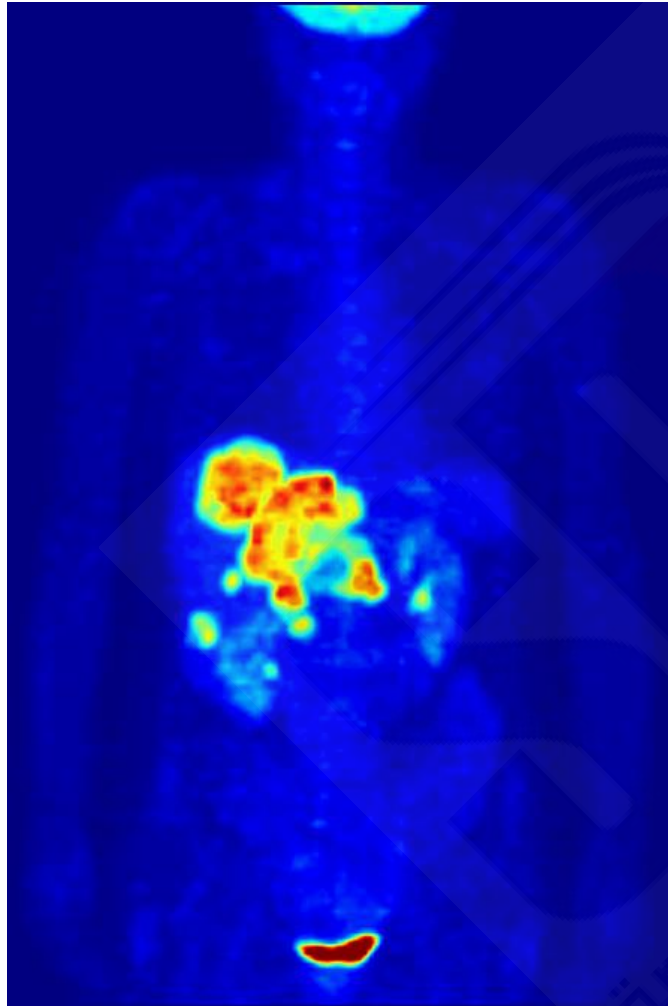


صورتان مقطعتان (إلى اليمين) تم الحصول عليهما بالتسجيل المشترك لـ PET/MRI تُظهران منطقة في الحصين إلى اليمين (السهم في كل صورة) فيها انخفاض في المعدل الاستقلابي.

التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني أو الثنائي الفوتون



جهاز التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني أو PET.



مسح كامل الجسم بالتصوير
المقطعي الإصداري الثنائي
الفوتون باستخدام الديوكسي
غلوكوز (مماثل للجلوكوز)
الموسوم بالفلور 18
Whole-body PET scan
using 18F-FDG

التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني أو الثنائي الفوتون



آلية عمل ماسح PET

- يتم إدخال سكر في جسم الإنسان موسوم بنكريد إشعاعي، في الدورة الدموية في الحالة النموذجية. تتميز الخلايا الورمية عن الخلايا السليمة بارتفاع استهلاكها للسكر، وبالتالي أينما كان موقع النسيج المصاب، تستهلك الخلايا السرطانية السكر من القفاء، الذي يحرر جسيمات مشحونة إيجابياً، تدعى بوزترونات. سرعان ما يقترن كل بوزترون بإلكترون حر داخل الجسم، ويتفانى الجسيمن مولدين زوجاً من الفوتونات. ينطلق الفوتونان في اتجاهين متعاكسين، راسمين خطاً مستقيماً إذا لم ينتثر أحدهما.

آلية عمل ماسح PET

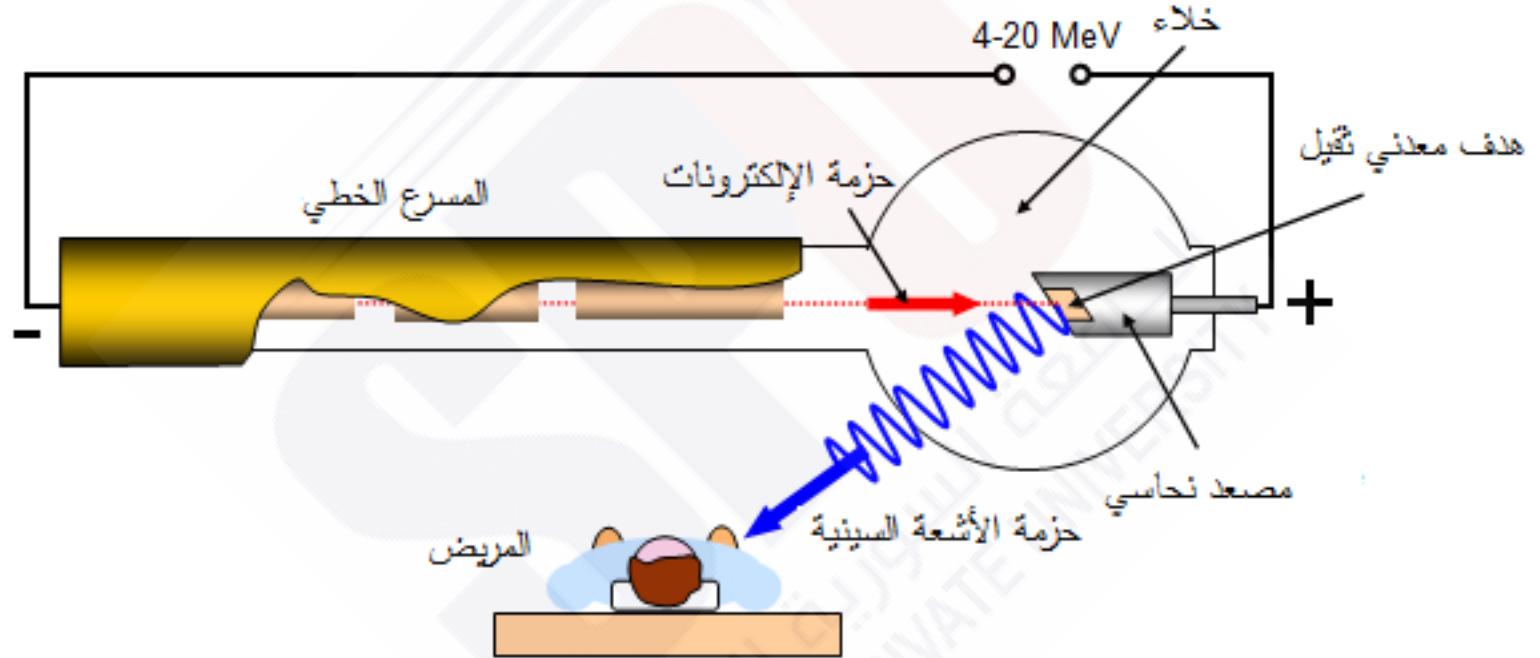
- تصدر ملايين أزواج الفوتونات وتصل إلى حلقة الكاشف. تتقاطع intersect الفوتونات مع جدران الحلقات لتشير marking إلى نهاية الخطوط المستقيمة. يدل تقاطع عدة خطوط على الموقع الدقيق للتركيز المرتفع للنظير . وبقدر ما تكون الخلية السرطانية أكثر نشاطاً، يكون استهلاكها للسكر أكبر، وتركيز النظائر أعلى، ومن ثم معدل إصدار البوزترونات أعلى. يسمح جمع مئات ملايين النقاط لبرمجيات حاسوبية معقدة ببناء نموذج ثلاثي الأبعاد (صورة ثابتة) أو رباعي الأبعاد (تتغير مع الزمن) للنسج السرطانية وتركيزها.

مقارنة بين صور PET وSPECT وCT Scan

- يمكن لكل من التقنيتين PET وSPECT أن تعطي صوراً ترتبط بالكيمياء الحيوية والاستقلاب والوظيفية.
- بينما تعكس صور مسوحات الأشعة السينية، شكل وبنية المنطقة المصورة، أي تشريحيتها.

الطب النووي العلاجي

المعالجة عن بعد، أو باستخدام حزمة إشعاعية خارجية



المسرّع الخطي وحزمة الأشعة السينية المستخدمة في معالجة المريض

الطب النووي العلاجي (المسرّع الخطي)



الطب النووي العلاجي (المسرّع الخطي)



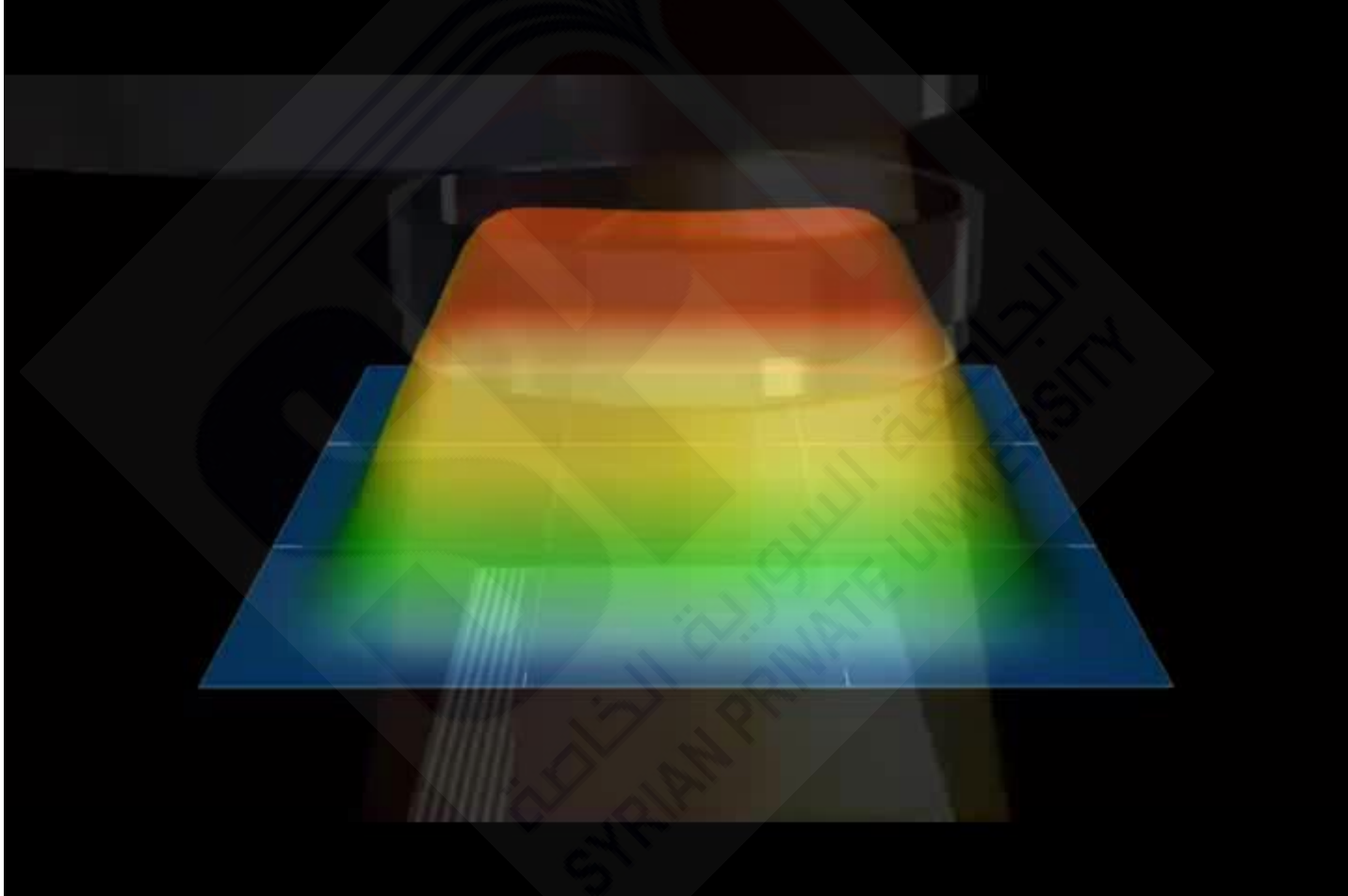
الطب النووي العلاجي (المسرّع الخطي)



الطب النووي العلاجي (المسرّع الخطي)

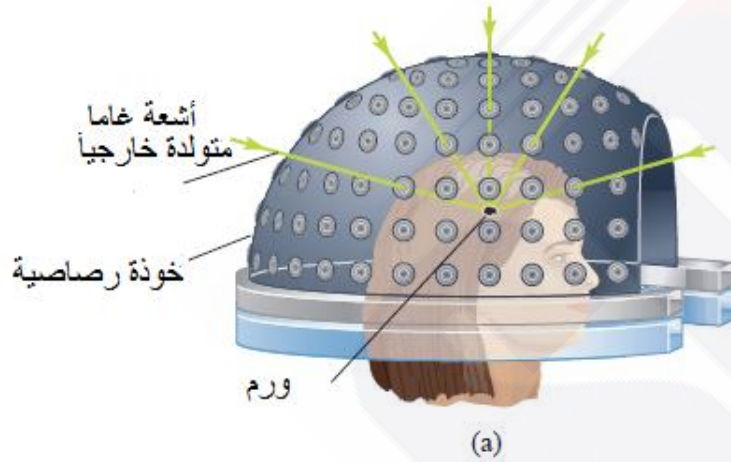


الطب النووي العلاجي (المسرّع الخطي)



الطب النووي العلاجي

المعالجة عن قرب



شكل تخطيطي للخوذة الرصاصية المستخدمة في الجراحة الشعاعية بالمشروط الغاماوي.

المعالجة الإشعاعية: المشروط الغاماوي

المعالجة الإشعاعية باليود 131 للغدة الدرقية.



المشروط الغاماوي



المعالجة عن قرب



آثار اشعاع ووحداته

التعرض _ الرونتجن R تقابل إحداث 1.61×10^{15} فرداً من
الإيونات في كل كيلوغرام من الهواء الجاف. تحمل شحنة
كهربائية قدرها كولوناً 2.58×10^{-4} .

• نسبة جزيئات الهواء التي تتأين بفعل الرونتجن:

$$\frac{1.61 \times 10^{15}}{2 \times \frac{1000}{29} \times 6.06 \times 10^{23}} \approx 4 \times 10^{-9} \%$$

آثار الإشعاع ووحدهاته

• الطاقة الوسطية اللازمة لإحداث أيون واحد في الهواء

$$5.4 \times 10^{-18} \text{ جولاً}$$

الطاقة الممتصة في الهواء المقابلة لتعرض قدره $1R$

$$1.61 \times 10^{15} \times 5.4 \times 10^{-18} = 8.69 \times 10^{-3} \text{ J / kg}$$

أي 0.00869 جولاً لكل كيلوغرام في الهواء

الطاقة المتوضعة في النسيج، الموافقة لتعرض قدره ($1R$)

$$\text{تقابل } 9.6 \times 10^{-3} \text{ J / kg}$$

آثار اشعاع ووحدهاته

. جرعة الإشعاع الممتصة - الغري والراد

- الجرعة الممتصة *Absorbed Dose* هي مقياس لتوضع الطاقة في أي وسط، الناجم عن أنواع الإشعاع المؤين كافة.
- وحدة قياس الجرعة الراد

(RAD) Radiation Absorbed Dose

- التي تعرف بأنها توضع للطاقة بمعدل $0.01J / kg$
- الغري (Gy) $1 Gy = 1 J / kg = 100 rad$
- $1R = 8.69 \times 10^{-3} / 0.01 = 0.869 rad$ في الهواء
- $1R = 9.6 \times 10^{-3} / 0.01 = 0.96 rad$ في النسيج البشري

آثار اشعاع ووحدااته

- الجرعة المكافئة _ السيفرت والريم

- الجرعة المكافئة (ريم) =

الجرعة الممتصة (الراد) × عامل النوعية

- الريم REM

RAD Equivalent for Man •

- في الحالة التي يكون فيها عامل النوعية مساوياً الواحد يكون:

$$1 Sv = 1 Gy \times Q = 100 rad \times Q = 100 rem$$

الإشعاع وعامل النوعية

الجدول 13.1. عامل النوعية	
نوع الإشعاع	عامل النوعية Q
الأشعة السينية وغاما وبيتا	1
نeutrons حرارية	2.3
نeutrons سريعة وبروتونات	10
جسيمات ألفا	20

مدى الإشعاعات النووية في الهواء والأنسجة الحية

الجدول 13.2. مدى الإشعاعات النووية في الهواء والأنسجة الحية

الإشعاع	المدى في الهواء	المدى في الأنسجة
ألفا	3 cm	0.04 mm
بيتا	300 cm	5 mm
السيترية وغاما	كبير جداً	تعبير الجسم
شرونات بطيئة	كبير جداً	15 cm
شرونات سريعة	كبير جداً	تعبير الجسم