وزارة التعليم العالي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

الجمهورية العربية السورية

الفصل الثالث عشر

النكليدات الإشعاعية والطب النووي

Radionuclides &

Nuclear Medicine

جامعة الشام الخاصة
Al-Sham Private University

جامعة الشام الخاصة
ASPU
2011

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

تقفي أو تعقب أثر التفاعلات الحيوية والفيزيولوجية

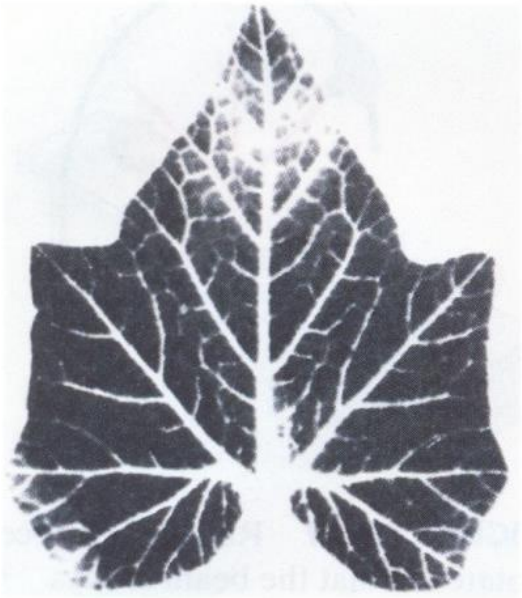
يشيع استخدام النكليدات أو النظائر ذات النشاطية الإشعاعية في البحوث الحيوية والطبية كقفاءات tracers تقتفي أثر التفاعلات الحيوية والفيزيولوجية.

يتم عملياً إدخال أحد النظائر المشعة كالكربون $^{14}_{6}C$ أو التريتيوم $^{3}_{1}H$ في الجزيئات التي تحقن في الجسم.

إذْ 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) بعداد غايغر Geiger أو بعدَّاد ومضاني .

التصوير الشعاعي الذاتي



(a)

(b)

مثال عن التصوير الشعاعي الذاتي

(a)صورة شعاعية ذاتية لورقة نباتية تعرضت لـ CO_2^{14} مدة ثلاثين ثانية.

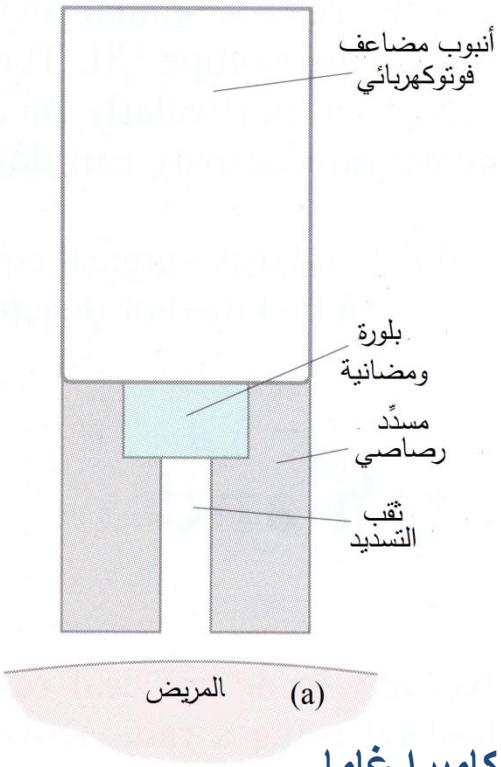
(b) صورة تظهر انقسام الدنا

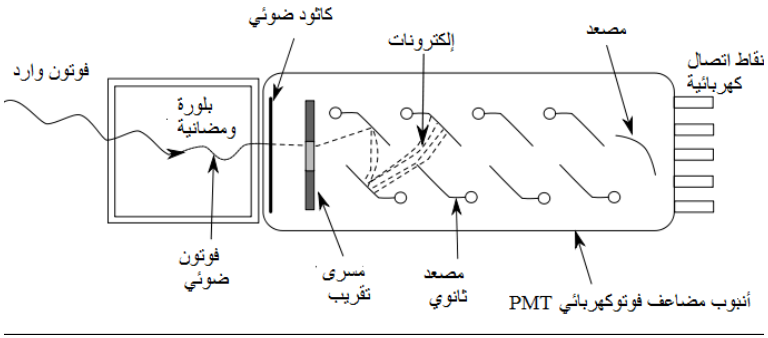
يتم الكشف عن الإشعاع الصادر بعداد غايغر ملر أو بعدَّاد ومضاني.

النكليدات الشائعة المستخدمة في التشخيص الطبي

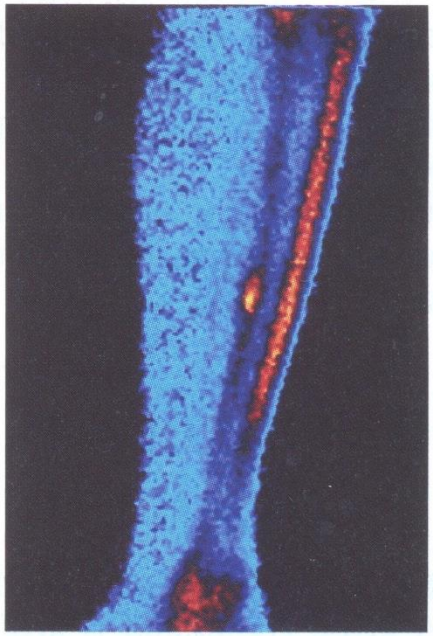
- يشيع في التشخيص الطبي **medical diagnosis**
- استخدام **النكليد الإشعاعي radionuclide المماكب** $^{99m}_{43}Tc$ ، وهو التكنسيوم 99 الذي يتميز **بحالة مثارة طويلة العمر** والذي يتم الحصول عليه عندما يتفكك المولبيدن $^{99}_{42}Mo$.
- يتميز هذا النظير بملاءمة عمر نصفه الذي يبلغ 6 ساعات.
- يتميز بإمكانية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

الكاشف المستخدم في تقنيات التشخيص الطبي



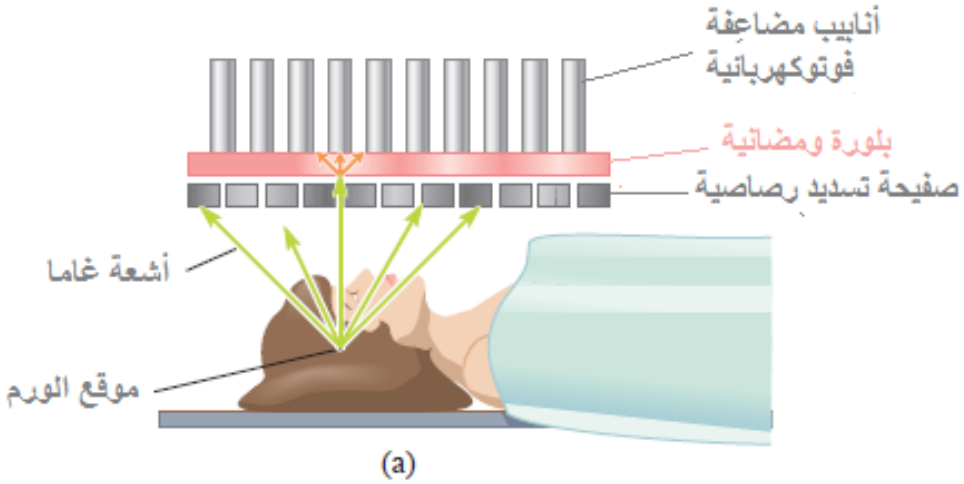


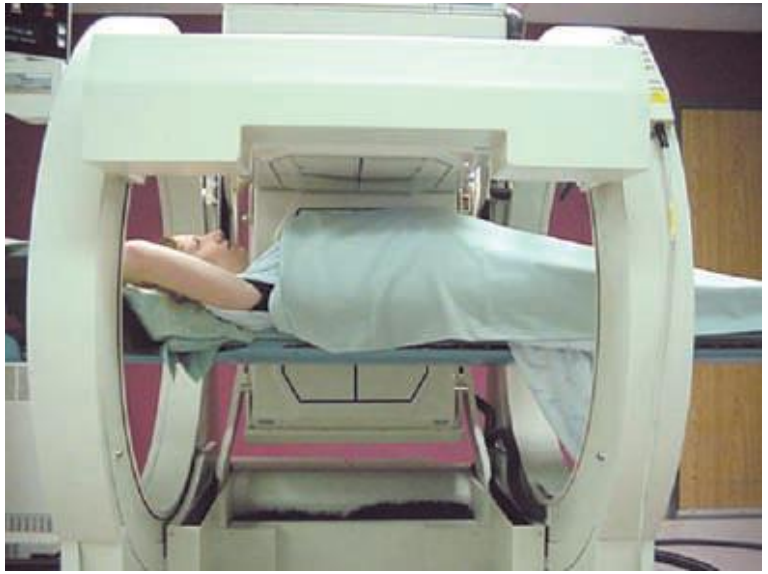
بنية المضاعف الفوتوكهربائي



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

كاميرا آنجيه والتصوير الومضاني





كاميرا آنجيه الغاماوية

التصوير الومضاني التشخيصي

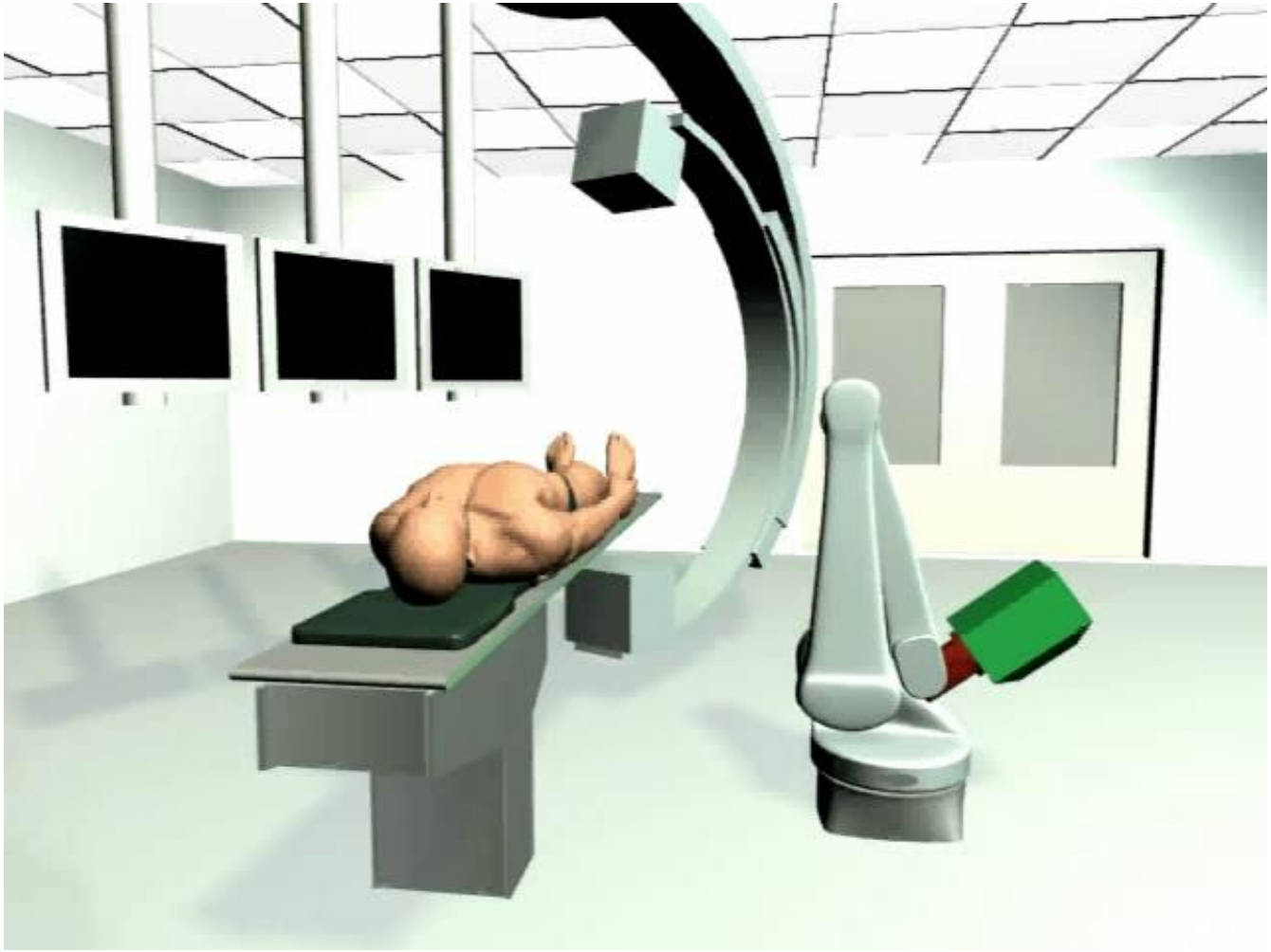
- نحصل في التصوير الومضاني Scintigraphy على صور ثنائيّة البعد للجزء المصوّر من جسم المريض،
- يستخدم في الكشف عن الكسور بأنواعها والالتهابات العظمية وصولاً إلى سرطان العظم
- و في الكشف عن الحالات المرضيّة للشرايين الإكليلية ويسمح بتقييم الحالة الوظيفيّة للعضلة القلبيّة بشكلٍ عام، تستخدم فيه مادة دوائية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

التصوير الومضاني التشخيصي

التصوير المقطعي المحوسب بالإصدار الأحادي الفوتون

جهاز الـSPECT المزوّد برأسي كاميرا غاما للتصوير المقطعي لكامل الجسم (تشخيص أمراض العظام).

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،
- إذْ تدلّ الإشعاعات الصادرة عن النظير المشع على مقدار تدفّق الدمّ 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

- ويستخدم الحاسوب لبناء الصورة ثلاثية البعد باستخدام برمجيات خاصة لذلك.
- نرى هنا التشابه بين هذه التقنيّة وتقنيّات التصوير الأخرى كالتصوير بالتجاوب المغنطيسي MRI(الفصل22)
- أو التصوير الطبقي المحوري بالأشعة السينية X-ray CT (الفصل5)،
- وكذلك التصوير بالإصدار البوزتروني PET الفقرة التالية)، إذْ 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

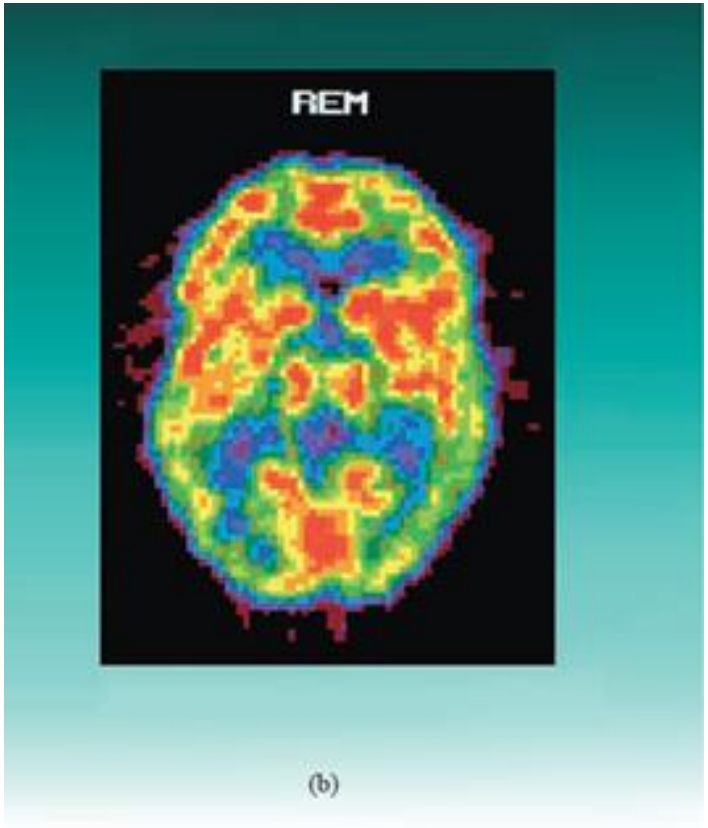
- تستخدم مجموعة من النظائر المشعة مصدرة للبوزترونات ذات أعمار نصف قصيرة نسبيّاً
- كالكربون11(20min) والأكسجين 15(2min) ، والفلور(110min) 18، والآزوت (10min) 13،
- يجري تضمين هذه النظائر المشعة في مركبات يستهلكها جسم الإنسان كالغلوكوز والماء.

التصوير المقطعي بالإصدار البوزتروني أو الثنائي الفوتون

- في معظم حالات التصوير المقطعي بالإصدار البوزتروني يُستخدم الـ الديوكسي غلوكوز الموسوم بالفلور18 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.

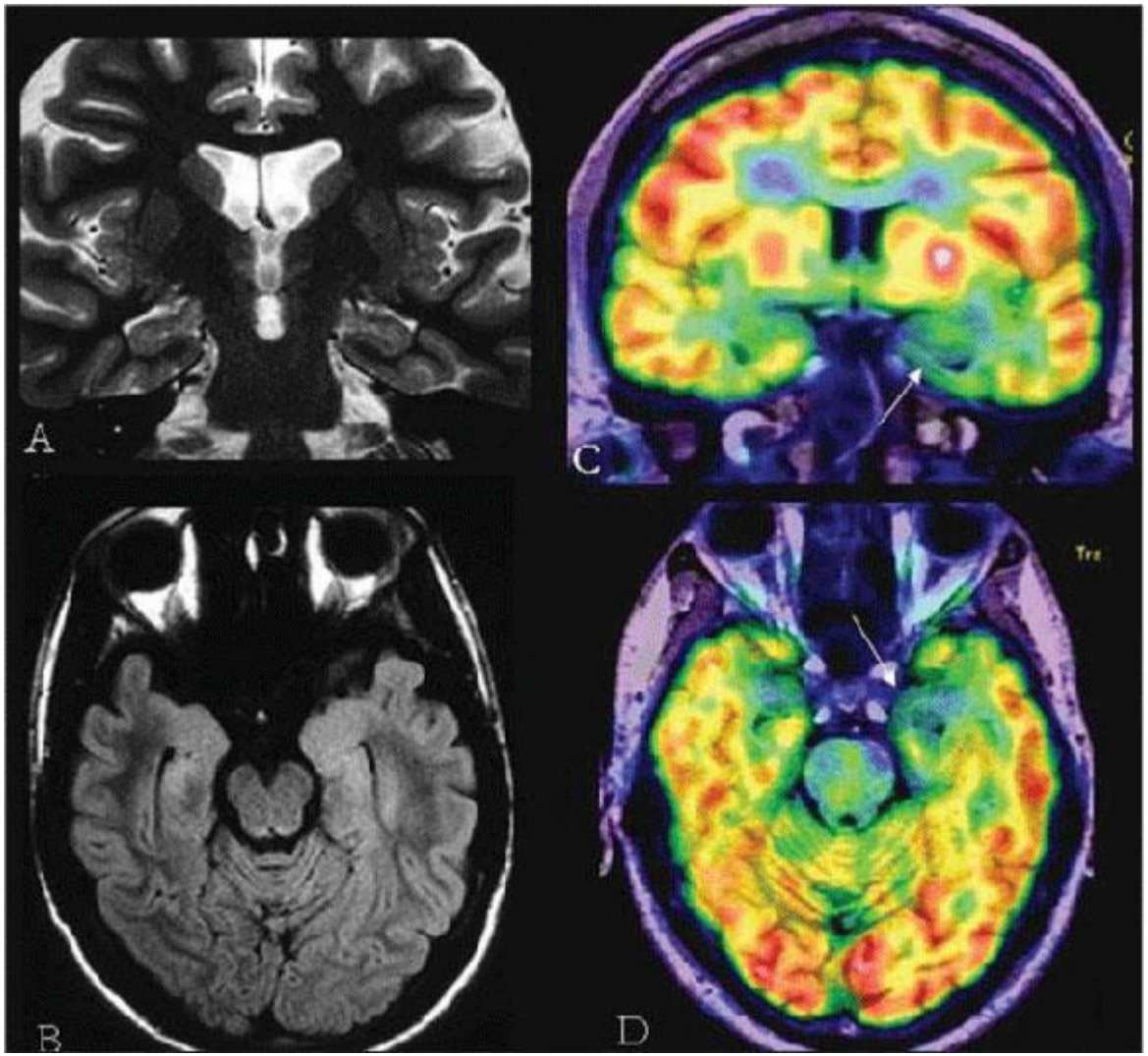
التصوير المقطعي بالإصدار البوزتروني أو الثنائي الفوتون

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



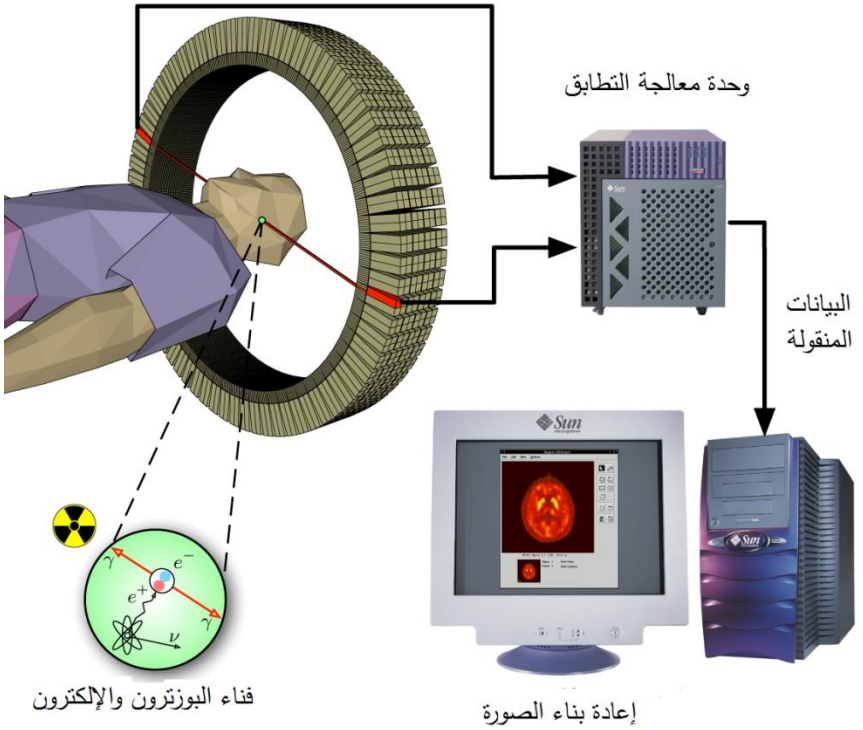
توزّع نظير المصدر للبوزترونات في الدماغ، والحصول على صورة وظيفيّة.

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



صورتان مقطعيتان (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 البوزتروني
أو الثنائي الفوتون



جهاز التصوير المقطعي بالإصدار البوزتروني أو PET.

التصوير المقطعي بالإصدار البوزتروني
أو الثنائي الفوتون

آلية عمل ماسح PET

- يتم إدخال سكر في جسم الإنسان موسوم بنكليد 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 الجسيمان مولدين زوجاً من الفوتونات. ينطلق الفوتونان في اتجاهين متعاكسين، راسمين خطاً مستقيماً إذا لم ينتثر أحدهما.

آلية عمل ماسح PET

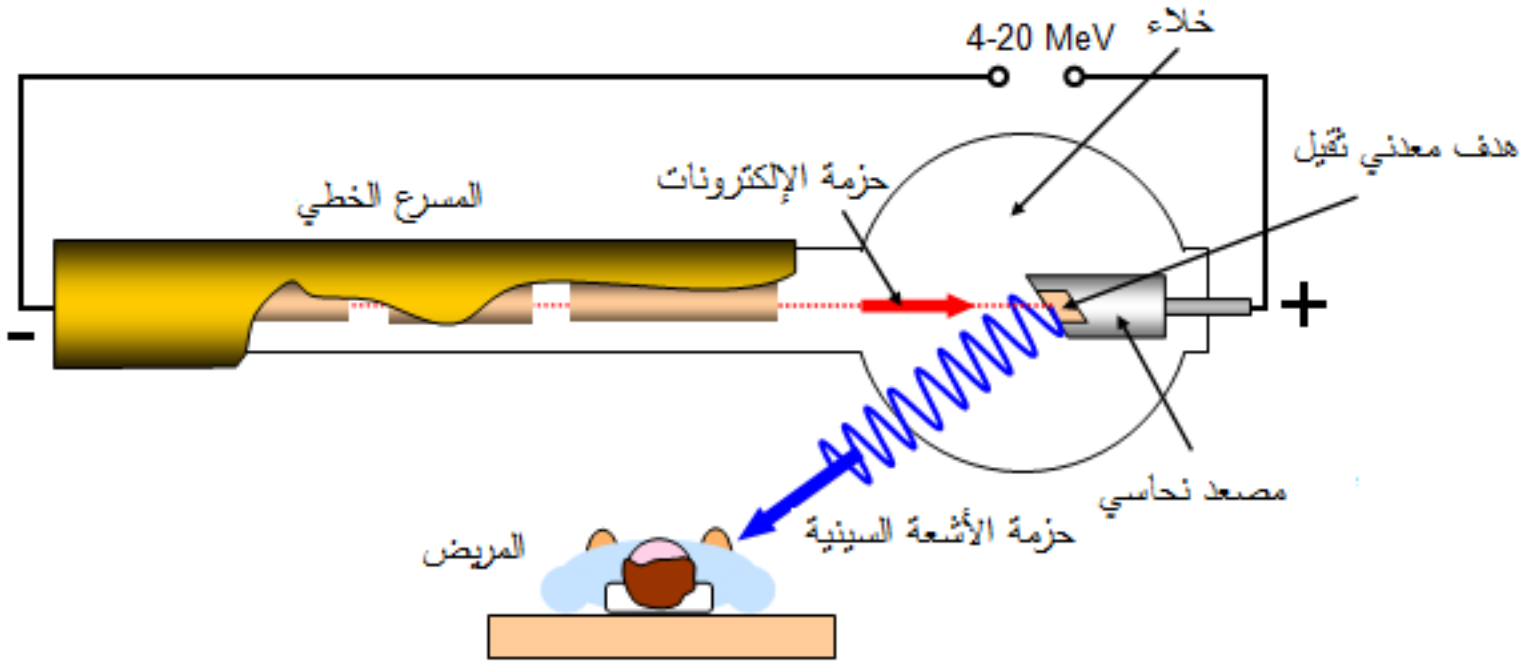
- تصدر ملايين أزواج الفوتونات وتصل إلى حلقة الكاشف. تتقاطع intersect الفوتونات مع جدران الحلقات لتشير marking إلى نهاية الخطوط المستقيمة. يدل تقاطع عدة خطوط على الموقع الدقيق للتركيز المرتفع للنظير . وبقدر ما تكون الخلية السرطانية أكثر نشاطاً، يكون استهلاكها للسكر أكبر، وتركيز النظائر أعلى، ومن ثم معدل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

مقارنة بين صور PETوSPECT 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.

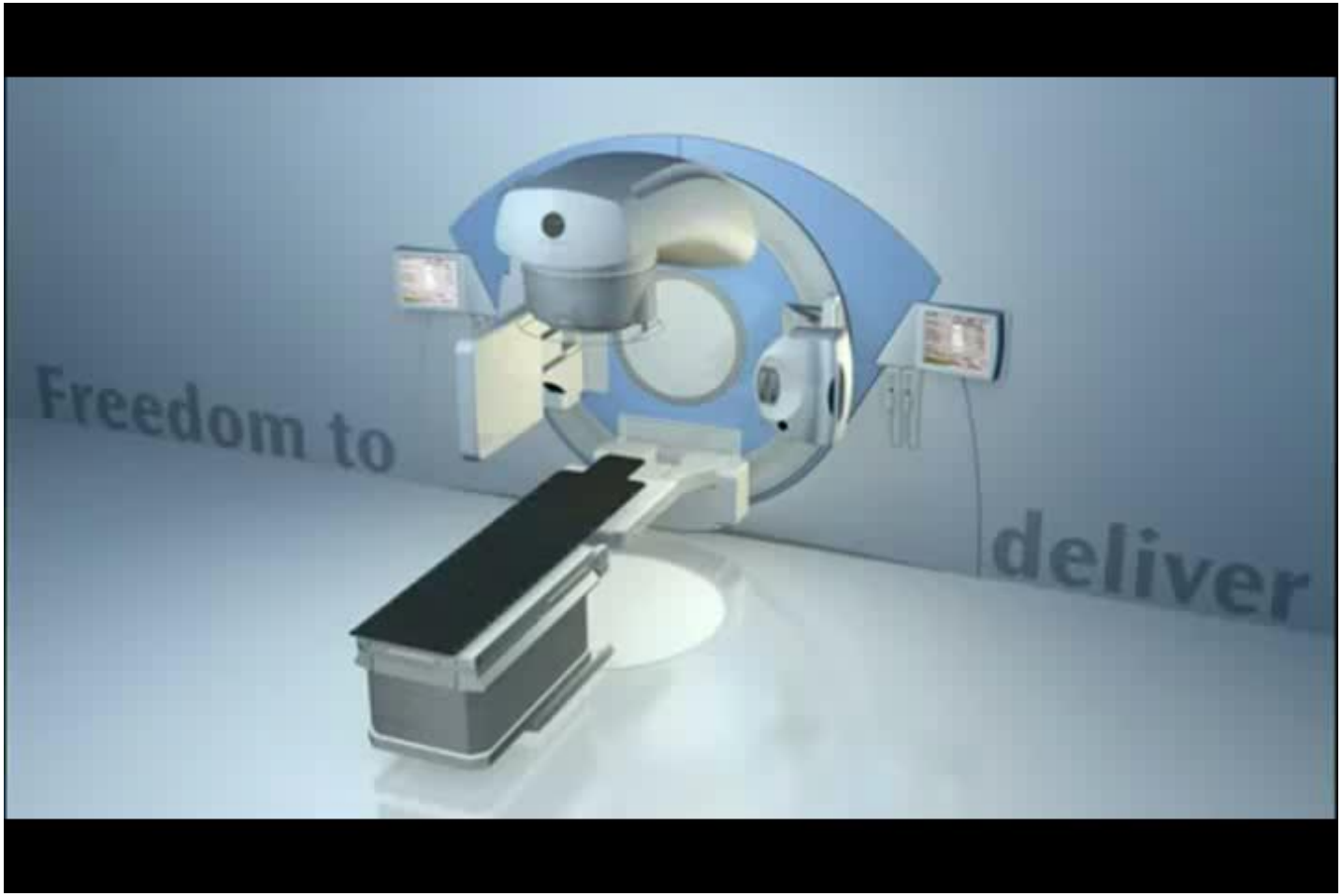
الطب النووي العلاجي

المعالجة عن بعد، أو باستخدام حزمة إشعاعية خارجية



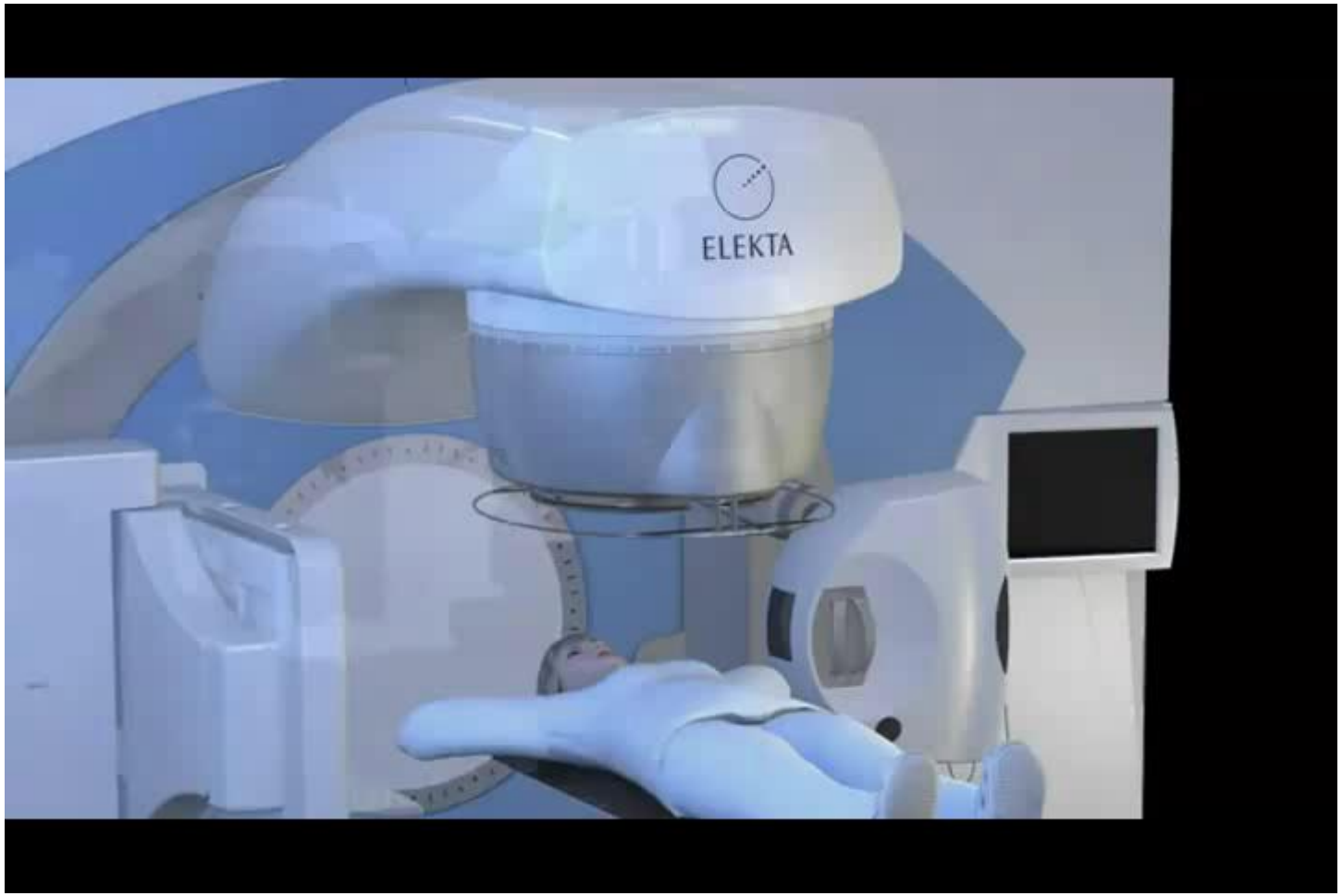
المسرع الخطي وحزمة الأشعة السينية المستخدمة في معالجة المريض

الطب النووي العلاجي (المسرع الخطي)

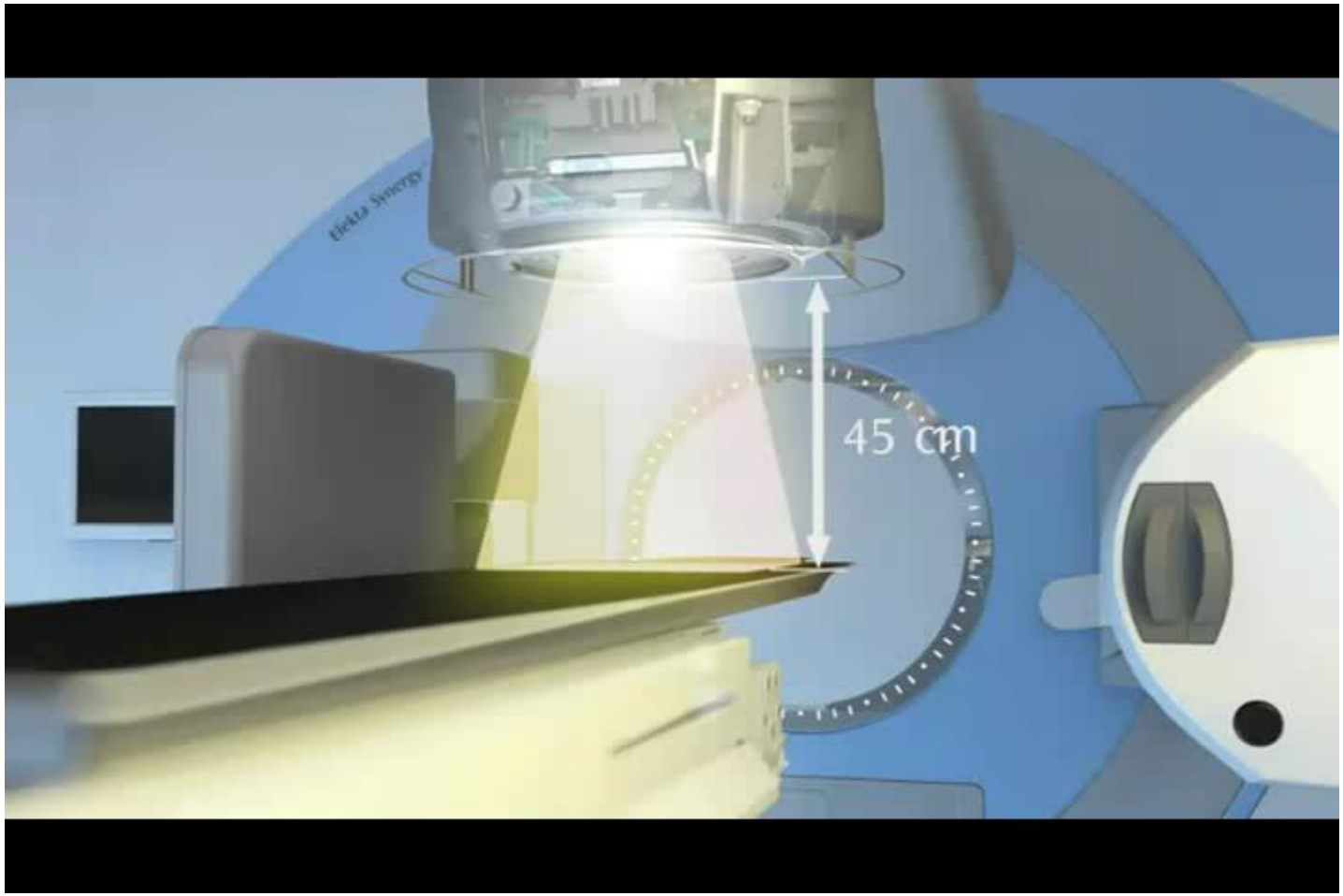


الطب النووي العلاجي (المسرع الخطي)

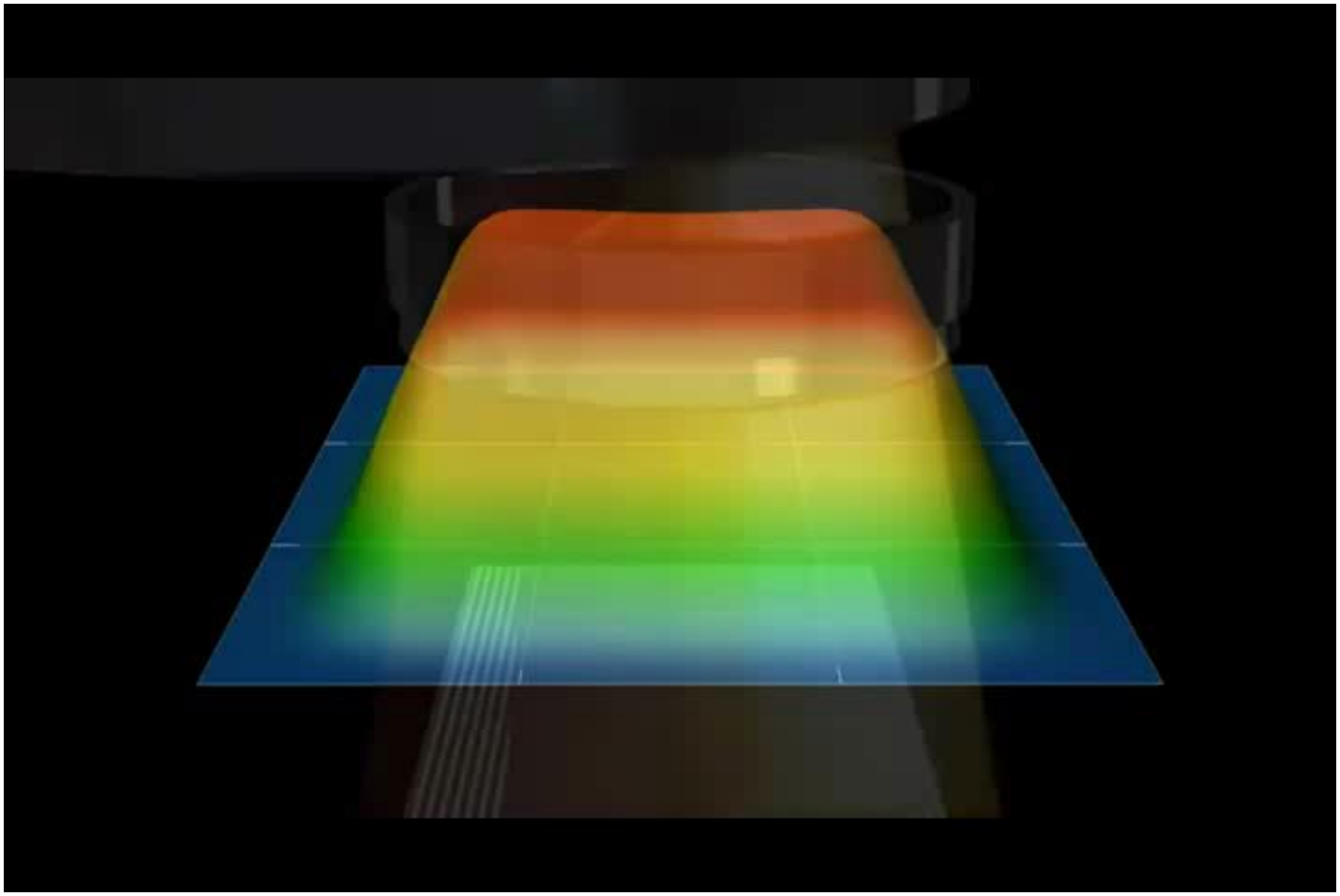
الطب النووي العلاجي (المسرع الخطي)



الطب النووي العلاجي (المسرع الخطي)

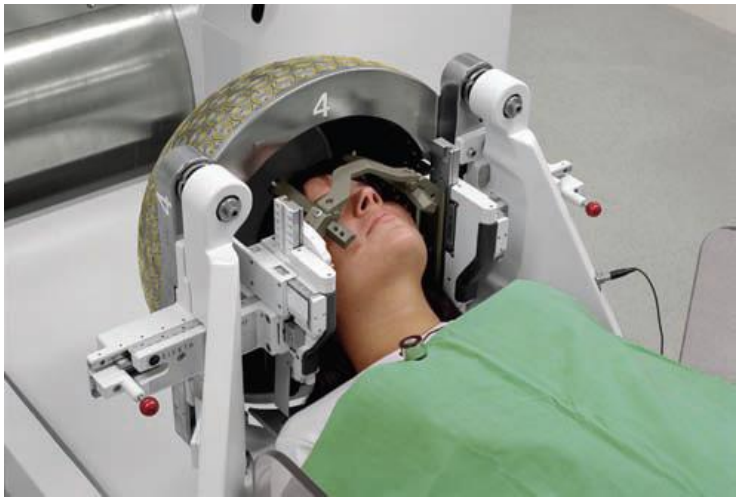


الطب النووي العلاجي (المسرع الخطي)

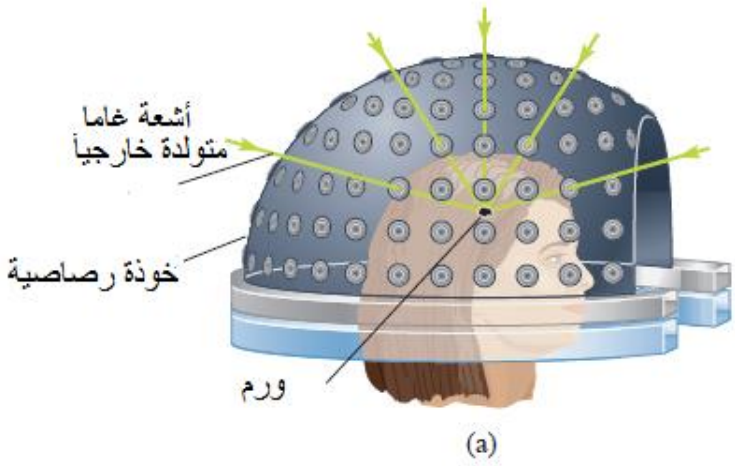


الطب النووي العلاجي

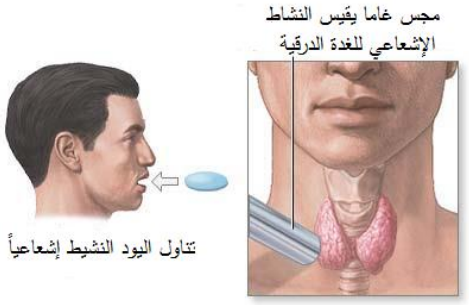
المعالجة عن قرب



المعالجة الإشعاعية: المشرط الغاماوي

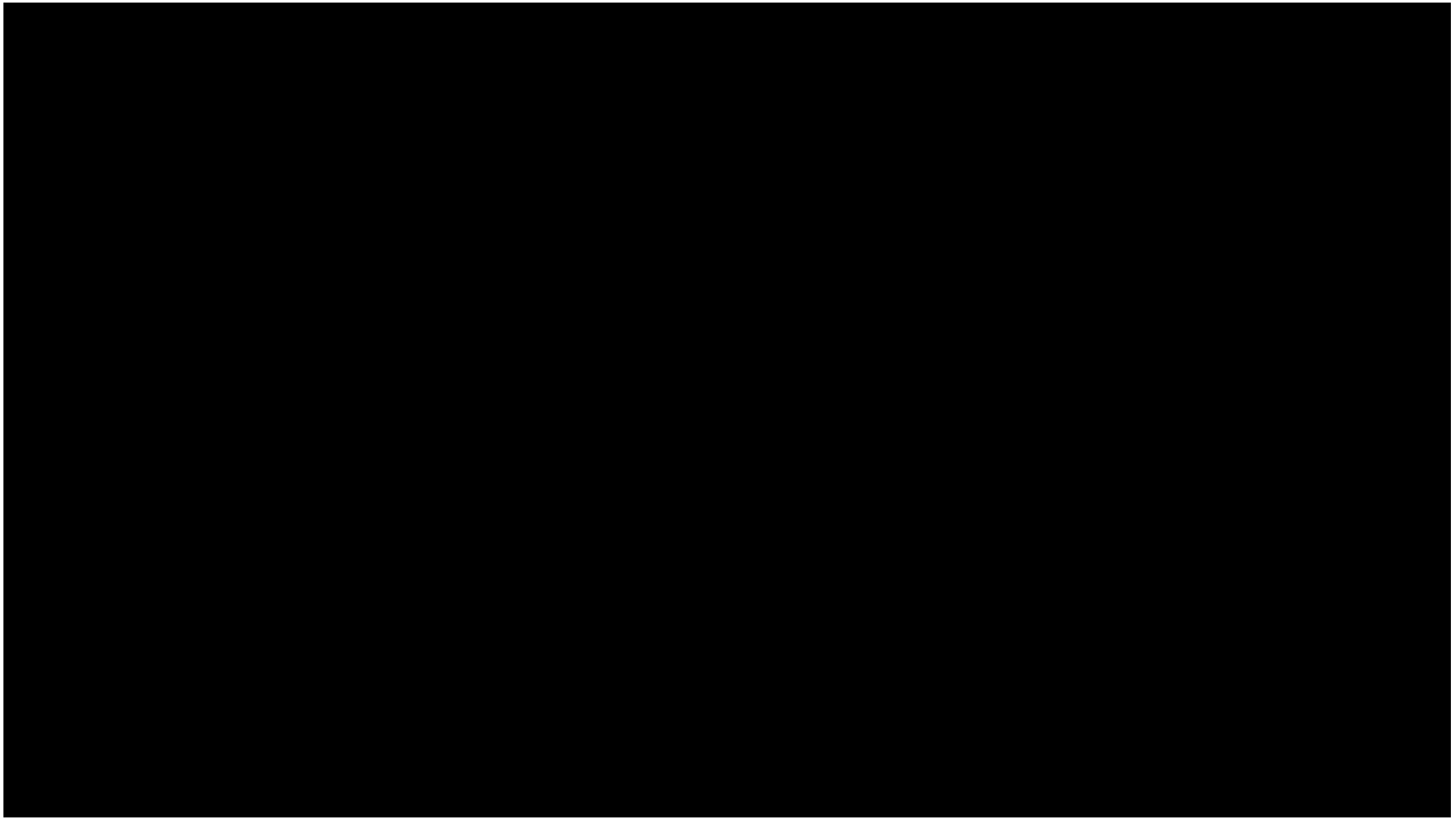


شكل تخطيطي للخوذة الرصاصية المستخدمة في الجراحة الشعاعية بالمشرط الغاماوي.



المعالجة الإشعاعية باليود 131 للغدة الدرقية.

المشرط 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:
-

$$\frac{1.61\times10^{15}}{2\times\frac{1000}{29}\times6.06\times10^{23}}\approx4\times10^{-9}\ \%$$

آثار الإشعاع ووحداته

- الطاقة الوسطية اللازمة لإحداث إيون واحد في الهواء

5.4×10^{-18} جولاً

الطاقة الممتصة في الهواء المقابلة لتعرض قدره $1R$

$$1.61\times10^{15}\times5.4\times10^{-18}=8.69\times10^{-3}\,J/kg$$

أي 0.00869 جولاً لكل كيلوغرام في الهواء

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

تقابل $9.6\times10^{-3}\,J/kg$

آثار اشعاع ووحداته

. 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 $0.01 J/kg$
- الغري $Gray\,(Gy)$ $1\,Gy = 1\,J/kg = 100\,rad$
- $1R$ في الهواء $1R = 8.69\times10^{-3}/0.01 = 0.869\,rad$
- في النسيج البشري $1R = 9.6\times10^{-3}/0.01 = 0.96\,rad$

آثار اشعاع ووحداته

- الجرعة المكافئة_ السيفرت والريم
- الجرعة المكافئة (رَيْم) =

الجرعة الممتصة (الراد) × عامل النوعية

- الريم REM
- RAD *Equivalent for Man*

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

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

الإشعاع وعامل النوعية

الجدول13.1. عامل النوعية	
نوع الإشعاع	عامل النوعية Q
الأشعة السينية وغاما وبيتا	1
نترونات حرارية	2.3
نترونات سريعة وبروتونات	10
جسيمات ألفا	20

مدى الإشعاعات النووية في الهواء والأنسجة الحية

الجدول13.2. مدى الإشعاعات النوويةً في الهواء والأنسجةً الحيةً		
الإشعاع	المدى في الهواء	المدى في الأنسجة
ألفا	3 *cm*	0.04 *mm*
بيتا	300 *cm*	5 *mm*
السينية وغاما	كبير جداً	تعبر الجسم
نترونات بطيئة	كبير جداً	15 *cm*
نترونات سريعة	كبير جداً	تعبر الجسم