الاشعاع و صحة الانسان

كلية العلوم البيئية / قسم الصحة البيئية
المرحلة الثانية

مدرس المادة
م.د. عمر كريم يونس

المقدمة

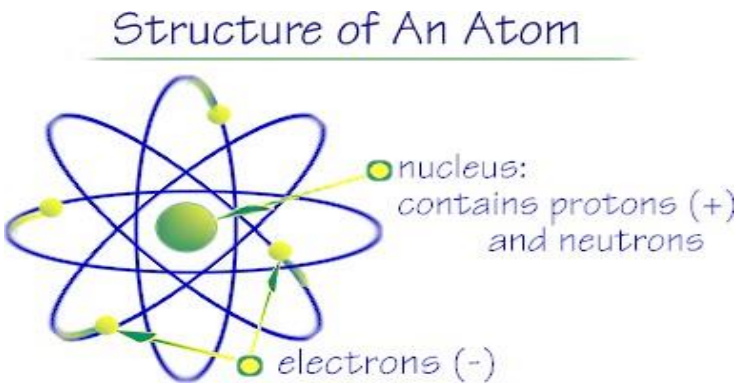
الإشعاع هو الطاقة التي تنتقل من مكان إلى آخر على شكل موجات أو جُسيمات. توجد الإشعاعات في كل جزء من حياتنا يتعرض الانسان الى الاشعاعات بصورة مستمرة. ينبعث الإشعاعات بصورة طبيعية او صناعية. يتعرَّض الانسان للإشعاع في حياته اليومية من خلال بعض مصادر الإشعاع الأكثر شيوعاً كأشعة الشمس وأفران الميكروويف في مطابخنا وأجهزة الراديو التي نستمع إليها في سياراتنا بالإضافة الى الإشعاعات القادمة من الفضاء المحيط بنا. وكذلك يمكن أن تحدث الإشعاعات طبيعيا في الماء الذي نشربه أو في التربة وفي مواد البناء (عنصر الرادون من الأرض والعناصر المشعة الموجودة في الأرض).

ويعرف الإشعاع بأنه العملية التي ينتج عنها انطلاق طاقة علي شكل جسيمات (Particles) أو موجات (Waves). وتقدر الجهات العلمية في الولايات المتحدة الأمريكية بأن الشخص العادي يتلقى جرعات من الإشعاع مقدارها 360 مللي ريم في السنة وتعتبر نسبة التعرض للإشعاعات الطبيعية 80% و 20% الثانية من الإشعاعات الصناعية

معظم هذه الإشعاعات تُشكِّل خطراً على صحة الانسان. وبشكل عام، تقل مخاطر الإشعاع عند التعرُّض لجرعات منخفضة منه ولكن يمكن أن تزيد مخاطره عند التعرُّض لجرعات كبيرة. ويجب اتِّخاذ تدابير مختلفة، حسب نوع الإشعاع، للحدِّ من آثاره على الإنسان والبيئة، بما يتيح لنا الاستفادة من تطبيقاته العديدة.

كيف تنشأ الإشعاعات:

تتكون ذرة العنصر من نواة مركزية (Nucleus) تحتوي على بروتونات موجبة الشحنة ونيوترونات متعادلة ويدور حول هذه النواة عدد من الإلكترونات سالبة الشحنة.



شكل (1) تركيب الذرة

ويطلق على عدد البروتونات في النواة اسم العدد الذري (Atomic Number) بينما يطلق على مجموع عدد البروتونات + مجموع النيوترونات اسم الوزن الذري (Atomic Weight). في معظم أنوية العناصر الكيميائية يكون عدد البروتونات داخل النواة مساويا لعدد النيوترونات وفي بعض أنوية بعض العناصر يكون عدد النيوترونات أكبر من عدد البروتونات وتسمي هذه العناصر بالنظائر(Isotope)وهذه النظائر بعضها ثابت لا يتغير تركيبها الذرى بمرور الزمن والعادة تكون لها عدد ذري منخفض .وبعض هذه النظائر غير مستقر وغالبا ما تكون أعدادها الذرية عالية وتسمي بالنظائر المشعة وهذه النظائر سوف تلفظ أنويتها دقائق نووية (أي سوف يصدر عنها إشعاعات نووية) تسمي أشعة ألفا ، وأشعة بيتا ، وأشعة جاما وبمرور الوقت تتحول هذه العناصر إلي عناصر أخري أقل وزنا وتختلف في صفاتها الكيميائية والفيزيائية عن العنصر الأصلي.

مصادر الاشعاع النووي

كل ما هو موجود على سطح الكرة الأرضية يجب ان يكون له مصدر ينتج منه وكذلك بالنسبة للإشعاع ايضاً فهوا ينتج من مصادر طبيعية ومصادر صناعية.

المصادر الطبيعية للإشعاع

- **الاشعة الكونية**

المصدر الرئيسي لهذه الاشعة ناتج عن الحوادث النجمية في الفضاء الكوني البعيد ومنها ما يصدر عن الشمس خاصة خلال التوهجات الشمسية التي تحدث مرة او مرتين كل 11 سنه مولده جرعة اشعاعية كبيرة الى الغلاف الغازي للأرض وتتكون هذه الاشعة الكونية من 87% من البروتونات و11% من جسيمات الفا، وحوالي 1% من النوى ذات العدد الذري ما بين 4 و 26 وحوالي 1% من الالكترونات ذات طاقة عالية جدا وهذه ما تمتاز به الاشعة الكونية، لذلك فإن لها القدرة الكبيرة على الاختراق.

وعند مرور هذه الاشعاعات المؤينة عبر الغلاف الجوي المغلف للعارض فأنها تتفاعل مع مكوناته فتتغير محتوياته وتضعف كمياتها التي تصل الى الارض بكميات ضئيلة جدا ليس منها ضرر على الانسان أو بيئته ولهذا يعتبر الغلاف الجوي واقياً من هذه الاشعاعات.

كما انها تتفاعل مع نوى الذرات الغلاف الجوي مولدة بذلك الكترونات سريعة واشعة كاما ونيوترونات وميزونات . ولا يستطيع أحد تجنب الاشعة الكونية ولكن شدتها على سطح الارض تتباين من مكان الى اخر حيث تتغير الجرعة الاشعاعية التي يتعرض لها الانسان من هذه المصدر الاشعاع بتغير موقعة على الكرة الارضية. فالأشعة الكونية تقل عند خط الاستواء وتزداد باتجاه القطبين وعند الارتفاعات العالية من سطح البحر فعندما تخترق

الاشعة الكونية الغلاف الجوي تتفاعل النيوترونات الكونية مع غاز النيتروجين (N^{14}) .بهذا ينتشر الكربون (C^{14}) المشع المتكون في الغلاف الجوي حتى يصل الى سطح الارض بفعل الامطار فيدخل في تركيب المواد الحية الموجودة في سطح الارض.

- **النشاط الطبيعي داخل جسم الانسان**

يشع جسم الانسان من الداخل عن طريق كل من الهواء الذي تتنفسه والغذاء والماء الذي يصل الى جوفه، فالهواء هو المصدر الرئيسي للجرعة الاشعاعية الطبيعية التي تصل الى داخل جسم الانسان ومصدرها الاساسي غاز الرادون في جو الارض والمتولد عن طريق التحلل التلقائي لنظير اليورانيوم U^{238} الموجود اساسا في صخور قشرة الارض.

وكذلك فان الغذاء الذي يتناوله الانسان من النبات يحتوي على مواد مشعة حيث ان المصدر الرئيسي لتلك المواد المشعة في النبات هو التربة التي تمتص منها النباتات تلك المواد مع غيرها من المواد الطبيعية فتدخل في بنائها . كما ان بعض الغبار الذي يتساقط على النبات يحوي اثارا من تلك المواد المشعة، وتصل المواد المشعة الى داخل جسم الانسان عن طريق تناوله النباتات او الحوم الحيوانات التي تتغذي على تلك النباتات وتدخل المواد المشعة ايضا مع الماء الذي نشربه حيث يحتوي المياه على اثار قليله جدا منها .لذلك تكون اجسامنا مشعة قليلاً من الداخل نظرا لوجود بعض العناصر المشعة فيها مثل البوتاسيوم (K^{40}). اضافة الى ذلك فقد يتواج كل من غاز الراديوم (Ra)عن تفكك او اضمحلال الراديوم والثوريوم (Th) الموجودين في التربة طبيعياً (وذلك عن طريق الجهاز التنفسي.

- **القشرة الارضية**

معظم المواد المشعة الموجودة على سطح الارض بشكل طبيعي مصدرها القشرة الارضية، وتتواجد المصادر الارضية على هيئة منفردة او على شكل مجموعات (سلاسل). أما بالنسبة للمواد المشعة المنفردة فمن اهمها عنصر البوتاسيوم (K^{40}) حيث يكون حوالي 0.002 % من البوتاسيوم الطبيعي على سطح الأرض ويوجد حوالي 140g من البوتاسيوم المشع في جسم الانسان الطبيعي الذي يزن 70 كيلو غرام.

المصادر الصناعية للإشعاع

ان مصادر التلوث الناتج منها هو ما تخرجه من مداخنها بصفة مستمرة من النظائر المشعة نتيجة الانشطار النووي الحادث داخل المفاعلات واهم هذه المواد اليود المشع والغازات المشعة الخاملة مثل غاز الكريبتون

(Cr^{85}) هذه بالإضافة الى ما يتصاعد من نواتج الانشطار غير الغازي مثل سترنشيوم (Sr^{90}) وسيزيوم (Cs^{137}).

الاشعاع الكهرومغناطيسي

هو نوع من الطاقة يُحيط بنا من كل مكان، ويتَّخذ أشكالاً عديدة، مثل: الموجات الراديَوية، (الموجات المايكروية - Microwaves)، والأشعة السينية، وأشعة جاما، ويُعد ضوء الشمس أيضاً شكلًا من أشكال الطاقة الكهرومغناطيسية، أما الضوء المرئي، فيُعدّ جزءاً صغيراً من الطيف الكهرومغناطيسي، ويحتوي على نطاق واسع من الأطوال الموجية الكهرومغناطيسية.

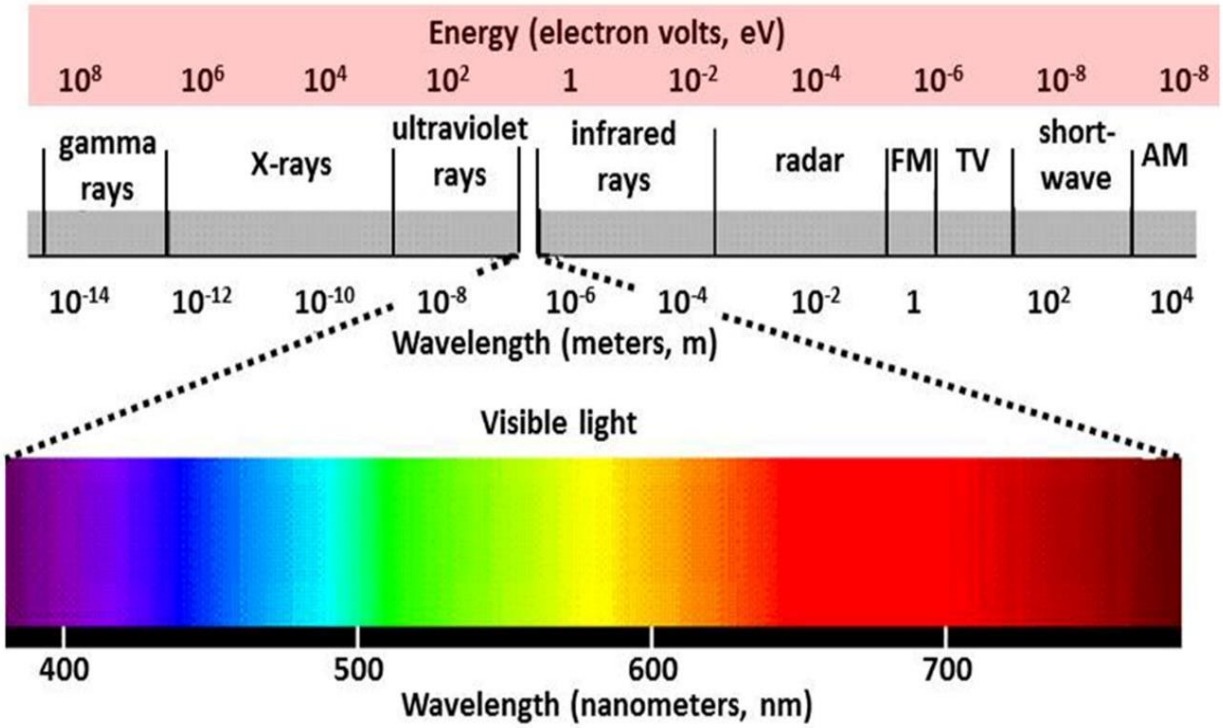
الخصائص الموجية للشعاع الكهرومغناطيسي

ينشأ الإشعاع الكهرومغناطيسي عندما يتم تسريع جُسيم ذريٍ، مثل: الإلكترون، بواسطة مجال كهربائي، مُحرّكاً إياه، وتُنتِج تِلك الحركة مجالات كهربائية، ومغناطيسية مُتذبذِبة، تُسافر في اتجاهات عمودية على بعضها البعض، في صورة حزمة من الطاقة الضوئية، تُدعى فوتون، تُسافر هذه الفوتونات في صورة موجات مُتجانِسةٍ بأقصى سرعةٍ مُمكِنة في الكون: 186,282 ميل في الثانية، (299,792,458 متراً في الثانية) في الفراغ، وتُعرف تلك السرعة أيضاً بسرعة الضوء، وللموجات خصائص مُعيّنة تتمثّل في التردد، والطول الموجي أو الطاقة.

يمكن ايجاز بعض خصائص الأشعة الكهرومغناطيسية من ناحية الطاقة والذبذبة والطول الموجي في جدول التالي:

جدول (1) خصائص الأشعة الكهرومغناطيسية من ناحية الطاقة والذبذبة والطول الموجي

Type	Energy (eV)	Frequency (Hz)	Wavelength (cm)
Radio, TV	$10^{-10} - 10^{-6}$	$10^{4} - 10^{8}$	$10^{2} - 10^{6}$
Microwave	$10^{-6} - 10^{-2}$	$10^{8} - 10^{12}$	$10^{-2} - 10^{2}$
Infrared	$10^{-2} - 1$	$10^{12} - 10^{14}$	$10^{-4} - 10^{-2}$
Visible	$1 - 2$	$10^{14} - 10^{15}$	$10^{-5} - 10^{-4}$
Ultraviolet	$2 - 100$	$10^{15} - 10^{16}$	$10^{-6} - 10^{-5}$
x-Rays and γ-rays	$100 - 10^{7}$	$10^{16} - 10^{21}$	$10^{-11} - 10^{-6}$



شكل (2) طيف الاشعاع الكهرومغناطيسي

طول موجة الشعاع الكهرومغناطيسي (λ) Wavelength

يعبر عن طول الموجة بالمسافة التي تتحركها الموجة خلال دورة واحدة أي المسافة بين أي نقطتين متناظرتين على مسار الموجة أي بين قمتين متتابعتينtwo successive crests أو بين قاعين متتاليين للموجة two successive trough وتتناسب سعة الموجة amplitude مع عدد الفوتونات ذات الطول الموجي (λ) الواحد وتعرف بمربع السعة.

تردد أو ذبذبة الشعاع الكهرومغناطيسي (v) Frequency

يعبر عن الذبذبة بعدد المنحنيات (الذبذبات) التي تمر على نقطة معينة في الثانية الواحدة عند تحرك الموجة (أو عدد الدورات التي تحدث في كل ثانية) ، ويعبر عن وحدة قياس الذبذبة بالدورة /ثانية cycle / second أو CPS.

كما تعرف الذبذبة بأنها: عدد وحدات طول الموجة في مسافة تساوي سرعة الضوء في الثانية الواحدة أي حوالي 2.9976×10^{10} cm / sec.

كذلك تعرف بأنها عدد وحدات طول الموجة في مسافة قدرها واحد سنتمترا.

والهرتز هي الوحدة الدولية لقياس التردد، واحد هرتز يكافئ ذبذبة واحدة في الثانية (دورة واحدة في الثانية أو ١\ثانية).

العدد الموجي للشعاع($\bar{\upsilon}$) Wave number

يمكن وصف الموجة أيضا بالعدد الموجي وهو عبارة عن معكوس الطول الموجي. ولذلك عندما تكون وحدة قياس طول الموجة سنتمترا يكون وحدة قياس العدد الموجي سنتمترا $^{-1}$.

$$\text{Wave number } (\bar{\upsilon}) = 1 / \lambda \text{ (cm)} = \text{cm}^{-1}$$

العلاقة بين سرعة الضوء والذبذبة وطول الموجة:

يمكن إيضاح العلاقة بين سرعة الضوء، والذبذبة، وطول الموجة بالمعادلة التالية :

سرعة الضوء (C) = التردد (ν) x طول الموجة (λ)

$$\lambda = c / \nu$$

والعلاقة بين الذبذبة وطول الموجة علاقة عكسية تماماً. ويوضح القانون التالي العلاقة بين سرعة الضوء والذبذبة وطول الموجة ومعامل الانكسار (n):

$$\lambda = c / \nu n$$

معامل الانكسار: هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ الى سرعته في الوسط المعين

أمثلة محلولة:

س/ احسب تردد الموجات التي تبثها احدى الاذاعات بطول موجي 2.5 سنتيمترا ، اذا علمت أن سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الثانية الواحدة هي $2.9976 \text{ X } 10^{10}$سنتيمترا / ثانية.

الحل

$\nu = c / \lambda$

$\nu = 2.9976 \text{ X } 10^{10} \text{ cm. sec}^{-1} / 2.5 \text{ cm}$

$\nu = 1.199 \text{ X } 10^{10} \text{ Hz}$

س/ اذا علمت أن الطول الموجي للضوء الأصفر هو 0.6×10^{-6} مترا ، احسب كل من تردد هدا الضوء الأصفر، والعدد الموجي له ؟

الحل

$\nu = c / \lambda$

$\nu = 2.9976 \text{ X } 10^{8} \text{ m. sec}^{-1} / 0.6 \text{ X } 10^{-6} \text{ cm}$

$\nu = 4.996 \text{ X } 10^{14} \text{ Hz}$

Wave number $(\bar{\upsilon}) = 1 / \lambda \text{ (m)} = 1 / 0.6 \text{ X } 10^{-6} = 1.66 \text{ X } 10^{6} \text{ m}^{-1}$

س/ احسب الطول الموجي للموجات الموقوفة على حبل، إذا كانت سرعة هذه الموجات 50 مترا / ثانية . واحسب تردد هذه الموجات، إذا كانت المسافة بين قمة الموجة وقاعها تساوي 0.6 مترا على التوالي.

الحل

المسافة بين قمة وقاع متتالين = نصف الطول الموجي

$$\frac{1}{2}\lambda = 0.6 \Longrightarrow 2 \times 0.6 \Longrightarrow \lambda = 1.2 \text{ m}$$

$\nu = c / \lambda$

$\nu = 50 \text{ m} / 1.2 \text{ m}$

$\nu = 41.66 \text{ Hz}$

أنواع الإشعاع

يوجد نوعان أساسيان للإشعاع هما:

- **إشعاع مؤين (Ionizing Radiation)** مثل أشعة إكس وأشعة جاما والأشعة الكونية وجسيمات بيتا وألفا.
- **إشعاع غير مؤين (Non-Ionizing Radiation)** مثل الإشعاعات الكهرومغناطيسية ومنها موجات الراديو والتليفزيون وموجات الرادار والموجات الحرارية ذات الأطوال الموجية القصيرة (ميكروويف) والموجات دون الحمراء والأشعة فوق البنفسجية والضوء العادي.

الإشعاع المؤين: Ionizing Radiation

توجد ثلاثة أنواع رئيسية من الإشعاع المؤين قد توجد في الإشعاعات التي يصنعها الإنسان كذلك في الإشعاع الطبيعي وهي دقائق ألفا (Alpha Particles)، دقائق بيتا (Beta Particles)، وأشعة جاما (Gamma Rays) و إضافة الى اشعة الاكس (X-ray).

الإشعاع المؤين يقسم إلى:

1. جسيمات (دقائق) ألفا:

تتميز جسيمات ألفا بالآتي:-

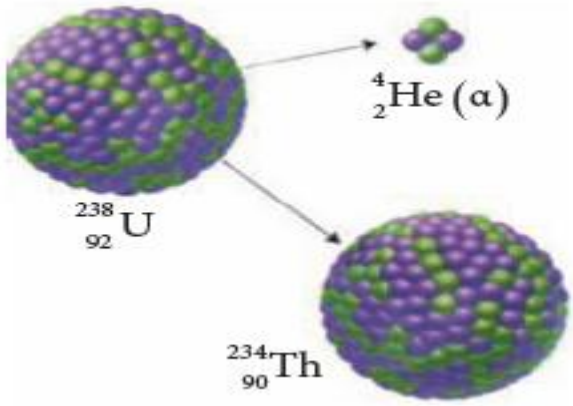
1. هي عبارة عن نوى ذرات الهليوم أي أنها موجبة الشحنة.
2. سرعة جسيمات ألفا تعتمد على نوع المصدر المشع.
3. أن مدى جسيمات ألفا في الهواء يعادل بضع سنتمترات ويمكن إيقافها بواسطة ورقه سميكة.
4. تحدث تأينا في الغاز الذي تمر خلاله.
5. تتأثر بالمجال المغناطيسي حيث تنحرف نحو الاتجاه السالب وتكون ثقيلة نسبيا وتحمل شحنه موجبه.
6. قوة الاختراق ق لجسيمات إلفا ضعيفة جدا حيث أنها تفقد طاقتها بمجرد خروجها من العنصر المشع، وان سبب قلة إمكانيه جسيمات ألفا لاختراق المواد يعود إلى شحنتها العالية التي تسبب تأينا عاليا للمادة التي تمر من خلالها وبذلك تفقد طاقتها بسرعة مما يجعل مداها قصيراً.
7. من الممكن أن تسبب أذى وضرر صحي في الأنسجة خلال المسار البسيط ويتم امتصاص هذه الأشعة بالجزء الخارجي من جلد الإنسان ولذلك لا تعتبر جسيمات ألفا ذات ضرر خارج الجسم ولكن من الممكن أن تسبب ضرر كبير أذا تم استنشاقها أو بلعها أو دخولها إلى الجسم نتيجة وجود جرح به فإنها تكون مؤذيه جدا. وعند مرور جسيمات ألفا في المادة تحدث تأينا لذراتها بسبب شحنتها العالية ولا يكون التأين

متجانسا على طول مسارها وانما يصل إلى أقصاه قرب نهاية مداها وتستخدم خاصية قابليتها على إحداث التأين في عملية الكشف.

8. عند انبعاثها من نواة عنصر مشع فان العدد الكتلي للعنصر المشع ينقص بأربعة وينقص عدده الذري باثنين. والمعادلة أدناه تبين تحلل أو تفكك إلفا.

Alpha decay $${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$$

$${}^{238}_{92}U \longrightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He$$



شكل (3) تركيب جسيمات الفا

2. جسيمات (دقائق) بيتا:

جسيمات بيتا هي إلكترونات أو بوزيترونات (إلكترونات ذات شحنة كهربائية موجبة). يحدث اضمحلال بيتا عندما يتحول أحد البروتونات أو النيوترونات إلى الآخر في بعض الأنوية الغير مستقرة. وهو ظاهرة النشاط الإشعاعي لعناصر كثيرة، تطلق فيه تلك العناصر أشعة بيتا.

أشعة بيتا هي فيض من الإلكترونات التي تنطلق من أنوية العناصر المشعة. ويتحول العنصر المُصَدر لتلك الإلكترونات أثناء تلك العملية التلقائية إلى عنصر آخر.

تتميز جسيمات بيتا بالآتي:-

1. تمتلك هذه الجسيمات قابلية اختراق أكبر من جسيمات ألفا بحدود(100) مرة.

2. يمكن أن تقطع عدة سنتمترات في الهواء قبل امتصاصها وبضع مليمترات داخل مادة الألمنيوم.
3. إنها تأين الوسط الذي تمر فيه بدرجه اقل مما تسببه جسيمات ألفا.
4. انحراف جسيمات بيتا بوجود المجال المغناطيسي أكبر من انحراف جسيمات ألفا وبالاتجاه الذي يشير إلى أنها تحمل شحنه سالبه (عبارة عن الكترونات)، وبما أن جسيمات بيتا مشحونة فهي تتفاعل مع الوسط الذري تمر فيه وتحدث تأينا بذراته ولهذا السبب أن مداها في الهواء أكبر من مدى جسيمات ألفا في الظروف القياسية بحوالي (280) مره.
5. يعتمد مدى جسيمات بيتا على سرعتها التي قد تصل أحيانا قريبا من سرعه الضوء وهي تنبعث من معظم المصادر الطبيعية والصناعية.
6. لا يمكن إيقاف دقائق بيتا بواسطة قطعة الورق ويمكن إيقاف سريان هذه الأشعة بواسطة قطعه من الخشب وقد تسبب أذى أذا اخترقت الجسم.
7. عندما تنبعث جسيمات بيتا من نواة عنصر مشع فان العدد الكتلي لا يتغير ولكن عدده الذري يزداد بواحد مع انبعاث إلكترون (جسيمة بيتا) كما في المعادلة أدناه.

النوع الأول تحلل–β

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + e^{-} $$

$$ {}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + e^{+} $$

النوع الثاني تحلل+β

$$ {}^{4}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + e^{-} \quad \text{(incomplete expression)} $$

$$ {}^{2}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + e^{+} \quad \text{(incomplete expression)} $$

3. أشعة كاما Rays Gamma

وهي أشد طاقة من أشعة إكس؛ تقدر طاقاتها بين (1 MeV – 14 MeV) . وأشعة غاما هي ناتج للتفاعلات النووية التي غالبا ما تحدث في الفضاء، وفي التفاعلات النووية والمفاعلات النووية، كما تنتج أيضا من العناصر المشعة مثل اليورانيوم وباقي النظائر المشعة بلوتونيوم وبولونيوم.

تتميز أشعة كاما بالآتي:-

1. إن طاقة أشعة كاما تكون عالية وبذلك فان قابلية اختراقها للمادة تكون كبيره حيث تزيد على عده سنتمترات لمادة الرصاص.

2. إن أشعة كاما تؤين الغاز الذي تمر خلاله بصوره ضعيفة.
3. لا تتأثر بوجود المجال المغناطيسي وهذا يدل على أنها موجات كهرومغناطيسية.
4. لا يصحب انبعاث أشعة كاما أي تتغير في عدد الكتلة أو العدد الذري وبالتالي لا يتغير العنصر ولكنها تنتج عندما تكون النواة في حالة أثاره أي تملك من الطاقة أكثر من الحد الطبيعي لها وحيث ان هناك اتجاه لأي جسيم كان يكون في اقل مستوى من الطاقة فان النواة المثارة تعطي الطاقة الزائدة على شكل موجات كهرومغناطيسية تسمى أشعة كاما.
5. تعد أشعة كاما من أخطر أنواع الإشعاعات ولها قوة اختراق عالية جدا، أكبر بكثير من جسيمات ألفا وبيتا ويمكن إيقاف سريانها بواسطة حاجز من الكونكريت (الخرسانة المسلحة) وتقع أشعة اكس من ضمن تقسيمات أشعة كاما ولكنها اقل قدرة على الاختراق من أشعة كاما.

والمعادلة الآتية توضح تفكك أشعة كاما.

$$ {}^{A}_{Z}X^{*} \rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma $$

4. الأشعة السينية X- Rays

هي نوع من الأشعة الكهرومغناطيسية بطول الموجة من 10 إلى 0.01 نانومتر أي أن طاقة أشعتها بين 120 إلكترون فولت (eV) و 120 ألف إلكترون فولت (Kev).

خواصها شبيهة بخواص أشعة جاما ولكن تختلف في المصدر حيث تنبعث أشعة إكس من عمليات خارج نواة الذرة بينما تنبعث أشعة جاما من داخل نواة الذرة. قوة الاختراق والنفاذية لأشعة إكس أقل من أشعة جاما وتعتبر أشعة إكس من أكثر مصادر تعرض الإنسان للإشعاع حيث يتم استخدامها في عديد من العمليات الصناعية – الطبية. يمكن إيقاف قدرتها على الاختراق بواسطة شريحة من الرصاص سمكها مليمترات قليلة.

اكتشف العالم الألماني رونتجن بطريق الصدفة عام 1895 م أشعة جديدة ذات قدرة كبيرة على اختراق المواد أطلق عليها اسم الأشعة السينية وتعرف هذه الأشعة في بعض الأحيان باسم أشعة رونتجن نسبة لمكتشفها. ولقد

كان لهذا الاكتشاف اهمية عظيمة ودور كبير في تطور العلوم الحديثة. فقد استخدمت هذه الأشعة وبعد حوالي ثلاثة أشهر من اكتشافها من قبل الجراحين النمساويين في بعض مستشفيات مدينة فيينا وما ا زلت تستخدم هذه الأشعة في الطب وغيره وبصورة واسعة وقد نال رون تجن على هذا الاكتشاف العظيم أول جائزة نوبل في الفيزياء عام 1901 م.

خصائص الأشعة السينية وهي كالتالي:

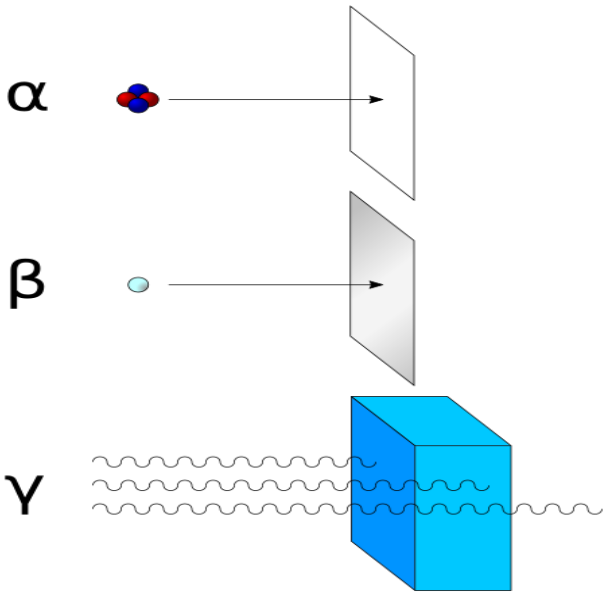
1. تصدر الأشعة السينية من النقطة التي تصطدم بها الإلكترونات السريعة في الجدار الزجاجي لأنبوبة أشعة المهبط وتصدر عامة عندما تتفاعل الالكترونات السريعة مع المواد الصلبة.
2. يمكن أن تحدث هذه الأشعة تأيناً في الغازات أو فلورة في كثير من المواد التي تسقط عليها.
3. تسير هذه الأشعة في خطوط مستقيمة وبسرعة مساوية لسرعة الضوء.
4. ولا تتأثر بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية وهي بالتالي لا تحمل أية شحنة كهربائية.
5. تستطيع هذه الأشعة أن تأين الغازات عند مرورها من خلال الأجسام المشحونة.
6. تؤثر على الألواح الفوتوغرافية الحساسة ولهذا يمكن التصوير بهذه الأشعة.
7. تمتص هذه الأشعة خلال المواد بدرجات متفاوتة تعتمد على العدد الذري للمادة وتظهر المواد التي عددها الذري صغير شفافة للأشعة السينية. ولقد تمكن رونتجن ومن خلال هذه الخاصية من الحصول على أول صورة لبعض عظام الجسم) عظام الكف (حيث استخدمت هذه الأشعة وما زالت تستخدم حتى الآن في الطب.
8. تنتج الأشعة السينية بخواص الضوء العادي من حيث الحيود والاستقطاب، لكن أطوالها الموجبة قصيرة جداً بالنسبة لأطوال موجية الضوء ونتيجة لذلك فان طاقتها أكبر بكثير من طاقة الضوء المرئي.

يمكن التمييز فيما بينها وذلك كما يأتي:

1. قدرة اختراقها للوسط الذي تمر فيه.
2. قابلية تأينها لذرات وجزيئات المواد التي تمر خلالها.
3. سلوكها في المجالين الكهربائي والمغناطيسي.

الجدول(2) يوضح قوة التأين النسبية وقوة النفاذية النسبية للإشعاعات النووية .

الإشعاعات النووية	قوة التأين النسبية	قوة النفاذية النسبية
جسيمات ألفا	10000	1
جسيمات بيتا	100	100
أشعة كاما	1	10000



شكل (4) يوضح قابلية اختراق الأشعة النووية لحاجز من الرصاص.

إشعاع غير مؤين (Non-Ionizing Radiation)

مثل الإشعاعات الكهرومغناطيسية ومنها موجات الراديو والتليفزيون وموجات الرادار والموجات الحرارية ذات الأطوال الموجية القصيرة (ميكروويف) والموجات دون الحمراء والأشعة فوق البنفسجية والضوء العادي.

الموجات الراديوية

توجد الموجات الراديوية في المدى الأقل للطيف الكهرومغناطيسي، بترددات تصل إلى (30 GHz) ، وأطوال موجية أطول أكبر (10 mm). ويُستخدم الراديو بشكل أساسي في مجال الاتصالات التي تتضمن أصواتاً وبيانات ووسائل ترفيهية.

الموجات الميكروية

تقع الموجات الميكروية في نطاق الطيف الكهرومغناطيسي بين الموجات الراديوية والأشعة تحت الحمراء، ولها ترددات بين (3GHz – 30THz) وطول موجي بين (10mm - 100µm) . وتستخدم الموجات الميكروية في الاتصالات ذات النطاق الترددي العالي، والرادار، وكمصدر حراري لأفران الموجات الميكروية المعروفة بأجهزة الميكروويف وأيضاً في تطبيقات صناعية أخرى.

الأشعة تحت الحمراء.

تقع الأشعة تحت الحمراء في نطاق الطيف الكهرومغناطيسي بين الموجات الصغرية، والضوء المرئي، ولديها أطوال موجية تبلغ فيما بين (100µm – 740nm) , والأشعة تحت الحمراء غير مرئيةٍ للعين البشرية، ولكننا نشعر بها كحرارة، إذا كانت الكثافة كافية.

الأشعة ما فوق البنفسجية.

تقع الأشعة ما فوق البنفسجية في نطاق الطيف الكهرومغناطيسي بين الضوء المرئي، والأشعة السينية، ولها أطوال موجية تبلغ فيما بين(380nm – 10nm) ، ويكون الضوء ما فوق البنفسجي، مكوناً من ضوء الشمس، ومع ذلك، فهو غير مرئي للعين البشرية، وبرغم وجود تطبيقات طبية واصطناعية عديدة له، إلا أنّه يُمكنه تدمير الأنسجة الحية.

الضوء المرئي.

يقع الضوء المرئي، في مُنتصف الطيف الكهرومغناطيسي، بين الأشعة تحت الحمراء، وما فوق بنفسجية، ولها أطوال موجية تبلغ فيما بين (380nm – 740nm) ، وبشكل عام، يُعرف الضوء المرئي بأنّه الأطوال الموجية المرئية لمُعظم أعين البشر.

يمكن ايجاز بعض خصائص الأشعة الكهرومغناطيسية من ناحية الطاقة والذبذبة والطول الموجي في جدول التالي:

طول موجة الشعاع الكهرومغناطيسي (λ) Wavelength

- يعبر عن طول الموجة بالمسافة التي تتحركها الموجة خلال دورة واحدة أي المسافة بين أي نقطتين متناظرتين على مسار الموجة أي بين قمتين متتابعتين two successive crests أو بين قاعين متتاليين للموجة two successive trough وتتناسب سعة الموجة amplitude مع عدد الفوتونات ذات الطول الموجي (λ) الواحد وتعرف بمربع السعة.

تردد أو ذبذبة الشعاع الكهرومغناطيسي (v) Frequency

- يعبر عن الذبذبة بعدد المنحنيات (الذبذبات) التي تمر على نقطة معينة في الثانية الواحدة عند تحرك الموجة (أو عدد الدورات التي تحدث في كل ثانية)، ويعبر عن وحدة قياس الذبذبة بالدورة / ثانية cycle / second أو CPS.
- كما تعرف الذبذبة بأنها: عدد وحدات طول الموجة في مسافة تساوي سرعة الضوء في الثانية الواحدة أي حوالي 2.9976×10^{10} cm / sec.
- كذلك تعرف بأنها عدد وحدات طول الموجة في مسافة قدرها واحد سنتيمترا.
- والهرتز هي الوحدة الدولية لقياس التردد، واحد هرتز يكافئ ذبذبة واحدة في الثانية (دورة واحدة في الثانية أو ١\ثانية).

العدد الموجي للشعاع($\bar{\upsilon}$) Wave number

يمكن وصف الموجة أيضا بالعدد الموجي وهو عبارة عن معكوس الطول الموجي.

Wave number ($\bar{\upsilon}$) = 1 / λ (cm) = cm^{-1}

ولذلك عندما تكون وحدة قياس طول الموجة سنتمترا يكون وحدة قياس العدد الموجي سنتمترا .

العلاقة بين سرعة الضوء والذبذبة وطول الموجة:

يمكن إيضاح العلاقة بين سرعة الضوء، والذبذبة، وطول الموجة بالمعادلة التالية :

(λ) طول الموجة **x** (**v**) التردد = (C) سرعة الضوء

$$\lambda = c / v$$

والعلاقة بين الذبذبة وطول الموجة علاقة عكسية تماماً. ويوضح القانون التالي العلاقة بين سرعة الضوء والذبذبة وطول الموجة ومعامل الانكسار (n):

$$\lambda = c / \nu n$$

معامل الانكسار: هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ الى سرعته في الوسط المعين

أمثلة:

س/ احسب تردد الموجات التي تبثها احدى الاذاعات بطول موجي 2.5 سنتيمترا ، اذا علمت أن سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الثانية الواحدة هي 2.9976×10^{10} سنتيمترا / ثانية.

الحل

$\nu = c / \lambda$

$\nu = 2.9976 \times 10^{10}$ cm. sec^{-1} / 2.5 cm

$\nu = 1.199 \times 10^{10}$ Hz

س/ اذا علمت أن الطول الموجي للضوء الأصفر هو 0.6×10^{-6} مترا ، احسب كل من تردد هذا الضوء الأصفر، والعدد الموجي له ؟

الحل

$\nu = c / \lambda$

$\nu = 2.9976 \times 10^{8}$ m. sec^{-1} / 0.6×10^{-6} cm

$\nu = 4.996 \times 10^{14}$ Hz

Wave number ($\bar{\upsilon}$) = $1 / \lambda$ (m) = $1 / 0.6 \times 10^{-6} = 1.66 \times 10^{6}$ m^{-1}

س/ احسب الطول الموجي للموجات الموقوفة على حبل، إذا كانت سرعة هذه الموجات 50 مترا / ثانية. واحسب تردد هذه الموجات، إذا كانت المسافة بين قمة الموجة وقاعها تساوي 0.6 مترا على التوالي.

الحل

المسافة بين قمة وقاع متتالين = نصف الطول الموجي

$$\frac{1}{2}\lambda = 0.6 \Longrightarrow 2 \times 0.6 \Longrightarrow \lambda = 1.2 \text{ m}$$

$\nu = c / \lambda$

$\nu = 50$ m / 1.2 m

$\nu = 41.66$ Hz

الوقاية من الاشعاع

الوقاية من الإشعاع: هو علم حماية الإنسان من تأثير الأشعة المؤينة سواء كانت جسيمات أولية مثل البروتونات والنيوترونات أو اشعة كهرومغناطيسية عالية الطاقة مثل الأشعة السينية وأشعة كاما .

وقد انصبت نتائج ذلك العلم الذي يجمع بين الفيزياء والطب في تعليمات ووصايا متفق عليها عالميا، وتقوم كل دولة بوضعها ضمن قوانينها بغرض الوقاية من الإشعاع. ويتحتم على العاملين في المجالات العلمية والصناعية وكذلك الأطباء المختصين بالتعامل مع المواد والأجهزة المصدرة للأشعة المؤينة اتباع تلك الوصايا والقوانين، من أجل الحفاظ على صحتهم وسلامتهم، وكذلك سالمة المرضى الذين يُعالجون بوساطة الإشعاع والنظائر المشعة. وينطبق ذلك أيضا على أطباء التصوير بالأشعة. ان الاشعاع المؤين الناتج من المصادر المشعة يمكن ان يكون ذو تأثيرات جسدية او وراثية. وتعتمد هذه التأثيرات على نوع وشدة وطاقة ذلك الاشعاع. وتكون الوقاية من الاشعاع من حيث التعرض على نوعين :

اولا: - الوقاية من التعرض الخارجي

.ينجم التعرض الخارجي عن التعرض لمصادر مشعة او اجهزة اشعاعية موجودة خارج جسم الانسان، وتعتمد الوقاية من التعرض الخارجي على اربعة عوامل رئيسية للوقاية من الاشعاع:

- **زمن التعرض Exposure time**

من المعروف ان الجرعة المتراكمة في الانسان تتناسب طرديا مع الزمن أي ان

$$I = I_o \times t$$

حيث ان I هي الجرعة المتراكمة، I_o هو معدل الجرعة، t هو زمن التعرض و لذلك فان ابسط أساليب الوقاية من الاخطار الاشعاع يجب تنفيذ العمل في المنطقة التي يوجد فيها اشعة في اسرع وقت ممكن و بكفاءة عالية.

أي يعني يجب ان نقلل من زمن التعرض لإشعاعات المؤينة وبذلك يؤدي الى تقليل الجرعة الشعاعية التي يتعرض لها الافراد .فمثالً تقليل الفترة الزمنية قرب المريض المحقون بالمواد المشعة أن يقوم أكثر من فني يمكن لكي تتوزع الجرع على أكثر من شخص واحد.

- **المسافة Distance**

ان كثافة الاشعة تقل كلما ابتعدنا عن المصدر طبقا لقانون التربيع العكسي وبذلك تقل الجرعة كلما ابتعدنا عن المصدر أي تتبع الاشعة قانون التربيع العكسي في الانتقال في الفراغ حيث العلاقة تمثل

$$I \propto \frac{1}{D^2}$$

حيث ان: I هي شدة الاشعة، D هي المسافة

مثال: لو كانت المسافة تساوي 1 متر

الحل/ $I = \frac{1}{(1)^2}$ ⟵ I=100%

مثال: لو كانت المسافة تساوي 0.5 متر

الحل/ $I = \frac{1}{(0.5)^2}$ ⟵ $I = \frac{1}{0.25}$ ⟵ I=400%

مثال: لو كانت المسافة تساوي 2 متر

الحل/ $I = \frac{1}{(2)^2}$ ⟵ $I = \frac{1}{4}$ ⟵ I=25%

إذا من خلال القانون نستنتج بان التعرض الاشعاعي يقل بزيادة المسافة بين المصدر المشع والنقطة المعنية حسب القانون

ويمكن الاستفادة من عنصر المسافة في الحالات التالية:

1. يستخدم ملقط طويل الذراع نسبياً لرفع قارورة (Vial) المواد المشعة.
2. تخزن المواد المشعة في حاويات توضع في مكان بعيد نسبياً عن الأماكن التي تزدحم بالناس.
3. الابتعاد قدر المستطاع من المريض أثناء التصوير بالمواد المشعة، حيث يجب أن تكون أبعاد الغرفة واسعة.

- **الحاجز او الدرع Shield**

تعتبر الحواجز الواقية من أهم وسائل الوقاية من الأخطار الخارجية ففي بعض الأحيان تكون شدة المصدر كبيرة، بحيث لا يمكن الاقتراب منه حتى لمسافة مئات الأمتار.

الحواجز او الدروع هو عبارة عن واقيات توضع حول جهاز الاشعة وذلك لخفض الاشعة الناتجة عنه، ولعمل الحاجز الواقي من الاشعة السينية يفضل استخدام المواد ذات العدد الذري الكبير نظرا لزيادة قدرتها على امتصاص هذا النوع من الاشعاعات ومن هذه المواد الرصاص وهو الأكثر استخداماً. ويتوقف نوع مادة الدروع وسمكه على نوع الإشعاعات وطاقتها وعلى النشاط الاشعاعي للمصدر. كما يتوقف على معدل الجرعة المقرة خارج الدرع

- **الاحتواء Containment**

هو عملية تقييد المواد المشعة وحصرها في اقل حجم وإقصائها عن البيئة. وهو أحد الوسائل الناجعة للوقاية من الاشعاع.

ثانيا : الوقاية من التعرض الداخلي

يكون التعرض الداخلي للجسم من خلال دخول المواد المشعة اليه عن طريق

- الجهاز الهضمي تناول الاطعمة والمشروبات الملوثة اشعاعي ويجب ان تستعمل قفازات بلاستيكية عند التعامل مع المواد المشعة وال يسمح بالأكل أو الشرب أو التدخين أو استعمال أدوات التجميل أو غيرها مثل كريم اليد أو أنبوبة الاستنشاق أو مرطب الشفاه أو غير ذلك.
- الجهاز التنفسي: استنشاق الغبار الملوث اشعاعيا والغازات والأبخرة المشعة
- الامتصاص: يمكن للمواد المشعة أن تدخل الجسم عن طريق الجروح أو الخدوش، لذلك فإن أي خدش يجب أن يغطى بمادة ال ينفذ منها الماء قبل التعامل مع المواد المشعة، كما يجب لبس قفازات ذات واحد والتي تفيد أيضاً الاستعمال ال في منع انتشار التلوث.

ولغرض الوقاية من التعرض الداخلي يتوجب استعمال الوسائل الوقائية اللازمة لوقاية الجهاز الهضمي او الجهاز التنفسي والجروح اذ ان التعرض الداخلي هو أكثر ضررا من التعرض الخارجي لكون النظائر المشعة تترسب في اعضاء معينة من جسم الانسان تعرف بالأعضاء الحرجة

الأساليب الصحيحة للسيطرة على التلوث الشعاعي:

ينبغي على جميع العاملين الذين يتعرضون للإشعاع خلال اعمالهم التدريب على اخذ الحيطة اللازمة لتجنب

المخاطر الاشعاعية وتعتمد المخاطر وطرائق الوقاية من الاشعاع على نوع المصدر المشع التي يمكن تقسيمها

الى نوعين:

1-الوقاية من المصادر المشعة المغلقة: وتشمل النويدات المشعة داخل كبسولة مغلقة. حيث تنبعث منها دقائق بيتا او اشعة كاما وكذلك اجهزة توليد الاشعاع بضمنها مجاميع الأشعة السينية ومعجلات الإلكترونات ومولدات النيوترونات.

2-الوقاية من المصادر المشعة المفتوحة: عندما تكون المادة المشعة بأية طريقة كانت فأنها تعد مصادر مفتوحة وللمصادر المشعة المفتوحة تطبيقات كثيرة في مجال الطب في التشخيص والعالج حيث يعطى المحلول المشع اما عن طريق الاوردة او عن طريق الفم.

وحدات قياس الإشعاع

الراد : وحدة قياس كمية الطاقة الإشعاعية الممتصة (جرعة الامتصاص) . هي وحدة «قديمة» لقياس جرعة الأشعة المؤينة للجسم ورمزها rad ، عن الإنجليزيةradiation absorbed dose

الرونتجن : وحدة قياس الأشعة الصادرة ويستخدم أساسا للأشعة السينية . هي وحدة لقياس التعرض للأشعة السينية وأشعة غاما حتى طاقة عدة ملايين إلكترون فولت (eV). واسمها أيضا رونتجن تكريما لعالم الفيزياء الألماني رونتجن الذي اكتشف تأثير الأشعة السينية.

الكيوري: هي وحدة لنشاط مادة مشعة، وقد استخدمت تلك الوحدة حتى عام 1985 في الفيزياء النووية، ثم استبدلت بوحدة أصغر منها وهي ال بيكريل. تستعمل وحدة كوري حتى يومنا هذا أحيانا في مجال فحص المواد بالإشعاع.

وقد قدّر: 1 كوري يساوي النشاط الإشعاعي ل 1 جرام من الراديوم-226،

الكيوري الواحد = 3.7×10^{10} انحلال في الثانية.

$$1\ Ci = 37\ GBq \implies 1Ci = 3.7 \times 10^{10} Bq$$

الريم (Rem) وهي اختصار (Roentgen Equivalent Man)

هي وحدة قديمة كانت تستخدم في قياس الجرعة المكافئة من الإشعاع للإنسان، وكانت تلك الوحدة مأخوذة عن وحدة رونتجن التي تقيس جرعة الأيونات في الإنسان ـ عندما يتعرض الإنسان إلى إشعاع مؤين.

انتهى العمل بالوحدة ريم للإشعاع في عام 1978 واستبدلت بالوحدة Sievert (Sv)، وكان من المقرر ألا تستخدم وحدة ريم في قياس جرعات الإشعاع بعد عام 1985، ولكن لا تزال بعض عدادات قياس الإشعاع بوحدة ريم تستخدم حتى الآن في بعض المراكز العلمية.

السيفرت: من أحدث وحدات قياس التأثير الناتج عن امتصاص الأشعة

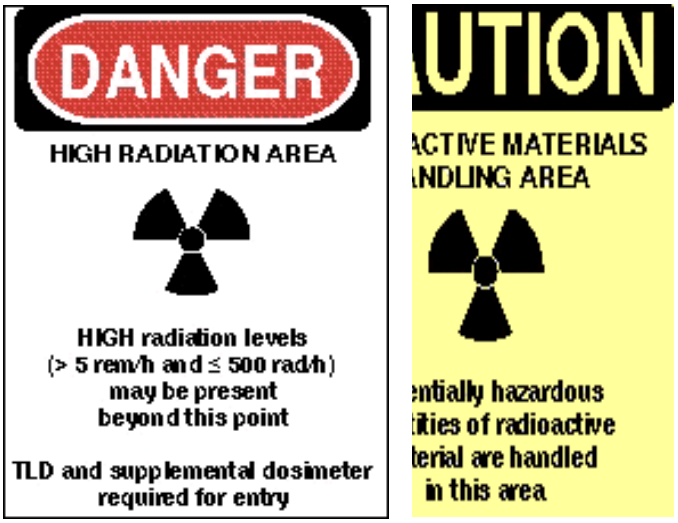
1 Sv = 100 rem

إجراءات السلامة في المعامل:

يجب أن يكون جميع العاملين في المعمل علي علم ودراية من مخاطر المواد المشعة التي يتم التعامل معها. يمنع الأكل والشرب والتدخين كذلك استعمال أدوات التجميل في المعمل. يمنع منعا باتا استخدام الماصة بالفم في حالة التعامل مع السوائل المحتوية على مواد مشعة. عدم تخزين أية مواد غذائية في الثلاجات أو المبردات الخاصة بالمواد المشعة. يجب عدم تناول المواد المشعة بالأيدي ويتم استخدام الملاقط المخصصة لذلك. يجب غسيل الأيدي بالماء والصابون بعد انتهاء العمل. يجب استخدام وسائل الكشف عن الإشعاع من قبل العاملين بالمعمل Films Badges.يجب تثبيت لافتات التحذير المناسبة علي مدخل المعمل

(CAUTION RADIO ACTIVE MATERIAL)

في المناطق التي يبلغ فيها مستوي الإشعاع الذي يتعرض له الشخص 5 مللي ريم في الساعة، يجب أن يتم وضع اللافتات التحذيرية المناسبة عليها(Radiation Area) . جميع الحاويات التي تستخدم لتخزين المواد المشعة يجب وضع اللافتات التحذيرية المناسبة عليها. ضرورة استخدام معدات الوقاية الشخصية اللازمة للحماية من مخاطر الإشعاع: القفازات – النظارات. عدم السماح لأي شخص بالمعمل داخل منطقة الإشعاع في حالة وجود أية جروح في جسمه. يتم نقل المواد المشعة بين المعامل المختلفة داخل الحاويات المخصصة لها.



شكل (5) ملصقات التحذيرية من الاشعاع

الجرعات الآمنة : Exposure Limitations

يتم نقل المواد المشعة بين المعامل المختلفة داخل الحاويات المخصصة لها.

الجرعات الأمنة: أقصى جرعات مسموح بها من الإشعاع Maximum Permissible Poses

ARW = Atomic Radiation Workers 1 Rem = 10 msv

العضو/النسيج	الجرعات الأمنة		الأشخاص العاديين
	msv /quarter	msv / year	
الجسم بالكامل	30	50	5
العظام والجلد	150	300	30
اليدين والقدمين	380	750	75
الرئتين أو عضو واحد أو أنسجة	80	150	15

ما هي آثار التعرض للإشعاع الفورية على الصحة؟

إن التعرض لجرعات منخفضة المستوى من الإشعاع قد يؤدي إلى وعكة إشعاعية، والتي تظهر على شكل مجموعة من الأعراض. ففي غضون ساعات من التعرض إلى الإشعاع، غالبا ما يبدأ المصاب في التقيؤ، وقد يصاب بالإسهال وبالصداع والحمى.

وبعد هذه الجولة الأولى من الأعراض قد تمر فترة وجيزة من الوقت دون أي عارض خطير، لكن قد تأتي بعد ذلك مرحلة تظهر فيها أعراض أخطر.

أما إذا كان مستوى التعرض للإشعاع مرتفعا فإن هذه الأعراض قد تظهر فورا، كما قد يستفحل مفعولها المتلف - وربما القاتل- في الأعضاء الداخلية للجسم. أما التعرض إلى مستوى من الإشعاع تبلغ درجته 4 جراي، فيعني في الغالب الأعم وفاة نصف عدد البالغين الأصحاء. وللمقارنة فإن جرعات علاج السرطان بالأشعة تتراوح ما بين جراي واحد و7 جراي، كل مرة. لكن هذه الجرعات متحكم فيها بشكل بالغ الدقة كما تستهدف جزءا محددا ومحدودا من الجسم البشري.

كيف يؤثر الإشعاع على الصحة؟

تنتج المواد الإشعاعية التي تضمحل تلقائيا أشعة مؤينة تمتلك القدرة على ألحاق أضرار جسيمة بالكيمياء الداخلية للخلايا بتكسيرها للروابط الكيميائية بين الذرات والجزيئات التي تتكون منها أنسجتنا. ويحاول الجسم أن يرد بإصلاح ما تضرر، لكن الضرر قد يكون من الجسامة أو الانتشار بحيث يصعب تداركه.

وهناك أيضا احتمال الخطأ في عملية الإصلاح الطبيعية. ومن المناطق الأكثر عرضة للعطب بسبب الإشعاع يذكر الخلايا التي تبطن الأمعاء والمعدة، وخلايا الدم التي تنتج من خلايا نخاع العظام. ويرتبط مدى الضرر الذي يتسبب فيه الإشباع بمدة التعرض ومستوى الجرعات.

التعامل مع تسرب المواد المشعة

إعلام الجميع لإخلاء المكان الذي حدث به التسرب.

إبلاغ المسئول عن السلامة الخاصة بالإشعاعات

إغلاق جميع الأجهزة التي تنتج المواد المشعة.

إغلاق جميع شفاطات التهوية.

إحراء الفحص اللازم إذا حدث التسرب على ملابس العاملين .

استخدام المعدات والأدوات الماصة لاحتواء التسرب.

وحدات قياس الإشعاع

وفي الوقت الحالي يستخدم النظام العالمي(الدولي) System International (SI) للوحدات للتعبير عن الكميات الإشعاعية، وإن كانت الوحدات القديمة ما زالت مستعملة في كثير من المجالات.

المقادير ووحدات القياس:

المقادير الفيزيائية The physical quantity تستعمل المقادير الفيزيائية لوصف وتمييز ظاهرة فيزيائية محددة، وللتعبير عنها أو تعيينها بدلالة الأرقام (مثل الطاقة وكمية الحركة والجرعة الممتصة والجرعة المكافئة وغيرها).

الوحدة: The unit

هي عينة مرجعية محددة، تستعمل لقياس مقدار الكمية الفيزيائية، مثل وحدة الكيلوغرام والمتر والثانية.

كميات ووحدات قياس الجرع الإشعاعية:

هي مقادير فيزيائية تعبر عن كمية الطاقة المودعة في كتلة معينة من المادة أو النسيج البشري، أو تعبر عن مخاطر الأنواع المختلفة من الإشعاعات المؤينة على الأنسجة وأعضاء الإنسان، أو على كامل جسم الإنسان. وتعتمد هذه الكميات عند اشتقاقها، على أسلوب تفاعل النوع المعين من الإشعاعات المؤينة مع المادة وأسلوب انتقال الطاقة من هذه الإشعاعات للمادة، وعلى مدى ضرر النوع المعين من الإشعاعات على الكائن الحي، عند تساوي قيم الطاقة المودعة في واحدة الكتلة من المواد المختلفة

التفكك الإشعاعي The radioactive decay

يعتبر التفكك الإشعاعي مع إصدار جسيم ألفا أو بيتا أو إشعاعات جاما عملية إحصائية خاضعة لقوانين الفيزياء الإحصائية، حيث أنه ليس بالإمكان توقع النواة أو النوى التي يمكن أن تتفكك في لحظة معينة. ويمكن إيجاد القانون الذي تتفكك بموجبه النوى انطلاقا من النظرية الإحصائية.

قانون التفكك الإشعاعي The radioactive decay law

لنفرض أن (λ) هو عبارة عن احتمال تفكك نواة معينة في ثانية واحدة، وأن هذا الاحتمال صغير جدا، أي أن:

$$0 < \lambda \ll 1$$

معنى ذلك أن احتمال تفكك هذه النواة خلال زمن قصير مقداره dt هو(λdt) . فإذا كان عدد النوى النشطة التي لم تتفكك بعد هو N فهذا يعني أن احتمال التفكك لكل هذا العدد من النوى خلال الزمن dt هو Nλdt .أي أن عدد النوى الذي يمكن أن يتفكك خلال هذا الزمن هو :

$$dN = -N\lambda dt$$

الإشارة السالبة تعني ان عدد النوى N المتبقي دون تفكك يقل كلما زاد الزمن.

$$N_{(t)} = N_o e^{-\lambda t}$$

حيث $N_{(t)}$ يمثل عدد النوى النشطة المتبقية دون تفكك حتى اللحظة t. و تعرف هذه العلاقة بقانون التفكك الاشعاعي و تمثل كمية (λ) ثابت التفكك.

النشاط الإشعاعي: Radiation activity

بانه عدد الانحلالات التي تحدث في الثانية الواحدة وتسمى أحيانا فعالية الاشعاعية. يعطى معدل التفكك الإشعاعي في عينة مشعة بالعلاقة:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right|$$

$$A = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A_o = \lambda N_o$$

$$A(t) = A_o e^{(-\lambda t)}$$

حيث أن :

A_o : الفعالية الأصلية أو الابتدائية (λN_o)

$A_{(t)}$: الفعالية بعد مرور زمن مقداره (t)

ان وحدة النشاط الإشعاعي (الفعالية) هي البيكرل Becquerel (Bq) ، وهو يساوي تحلل واحد في الثانية. و الذي يساوي في بعض الأحيان (Disintegration/sec) $(\frac{dis}{sec})$ حيث سميت فيما بعد بالكوري(Curie) او (Ci) الذي كان يُعرَّف سابقاً على أنه النشاط الإشعاعي لغرام واحد من الراديوم - $(^{229}_{88}Ra)$ و لكنه معرف الآن على أنه يعادل:

$$Ci=3.7 \times 10^{10} \text{ (dis/sec) or (dps) (decay/sec)}$$

وهناك وحدة أخرى للنشاط الإشعاعي تسمى بيكريل وهو انحلال واحد في الثانية الواحدة

Bq = 1 dps = 1 decay/sec

الفعالية الاشعاعية النوعية :Activity Radiation Specific (SA)

بانها عدد الوحدات البيكرل (الكوري) لوحدة الكتلة او الحجم من المادة المشعة، وحدة قياسها (Bq/kg) او (Ci/g)، وتعطي علاقة الفعالية الاشعاعية النوعية بالعلاقة التالية:

$$(SA) = A / m = A / V$$

عمر النصف $(t_{\frac{1}{2}})$: و هو زمن اللازم لانحلال نصف عدد الذرات (النوى)المتواجدة في بداية الاشعاع لمادة معينة و تعطي بالعلاقة التالية :

$$N = N_o/2$$

$$N_o/2 = N_o\ (e^{-\lambda t1/2})$$

$$\therefore \quad t_{1/2} = \ln 2 / \lambda$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda}$$

من الواضح انه بعد الفترة الزمنية $(t_{\frac{1}{2}})$ يبقى نصف عدد الذرات (النوى) المتواجدة في بداية الإشعاع وبعد مرور فترة زمنية $(t_{\frac{1}{2}})$ يبقى ربع عدد الذرات (النوى) المتواجدة في بداية الإشعاع وهكذا . ويعرف متوسط عمر (معدل عمر) للنظير المشع بانه:

$$T = \frac{1}{\lambda}$$

أي إن معدل العمر: هو معدل الزمن الذي تبقى خلاله النوى قبل انحلال اشعاعي

$$T = \frac{1}{\lambda} = t_{1/2}/0.693 = 1.443\ t_{1/2}$$

مثال : اذا كان عدد ذرات الراديوم $^{229}_{88}Ra$ من عينة من املاح اليورانيوم تقدر (2.8×10^6) ذرة يورانيوم مقابل ذرة واحدة من الراديوم فكم يبلغ عمر النصف لليورانيوم اذا كان $(t_{\frac{1}{2}})$ للراديوم 1630 سنة.

الحل : **من القانون الاتزان**

$N_\iota \lambda_\iota = N_2\lambda_2$

أي ان :

$N_1 / N_2 = \lambda_2 / \lambda_1 = t_1 / t_2$

$1/ 2.8 \times 10^6 = 1630 / t_2$

$t_2 = 4.564 \times 10^9$ year

مثال/ جد الزمن اللازم لكي تنقص كتلة Na مقدارها (5mg) الى (1mg) مع العلم ان عمر النصف لNa يساوي (26) سنة.

الحل/

$$m = m_o e^{-\lambda t} \implies$$

$$\frac{m}{m_o} = e^{-\lambda t} \implies$$

$$\ln\left(\frac{m_o}{m}\right) = \lambda t \implies$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{m_o}{m} \implies$$

$$\therefore \quad \mathbf{t_{1/2} = \ln 2 / \lambda}$$

$$\therefore \lambda = \frac{ln2}{t_{\frac{1}{2}}}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{2.6} = 0.266\, y^{-1}$$

$$t = \frac{1}{0.266} \ln \frac{5}{1}$$

$$t = 6\, years$$

مثال/عينة من $^{13}_{7}N$ النقي كتلتها ($\mu 1.49g$) اذا علمت ان عمر النصف ل $^{13}_{7}N$ هو(10min) جد:

(1) عدد النوى الموجودة ابتدائياً في العينة

(2) الفعالية الابتدائية للعينة بوحدات (dps)

(3) فعالية العينة بعد مرور ساعة واحدة، علماً ان عدد أفوكادو يساوي $6.023 \times 10^{23} mol^{-1}$

الحل :

1- $N_o = (m_o N_A) / A$

$N_o = (1.49 \times 10^{-6} \times 6.023 \times 10^{23}) / 13 = 6.9 \times 10^{16}$ Nuclei (atom)

2- $A_o = \lambda N_o$

$\lambda = \text{Ln } 2 / t_{1/2} = 0.693 / 10 \times 60 = 1.155 \times 10^{-3}$ sec.$^{-1}$

$A_o = 1.155 \times 10^{-3} \times 6.9 \times 10^{16} = 7.69 \times 10^{13}$ dps

3- $A = A_0 (e^{-\lambda t}) = 7.69 \times 10^{13} \times e^{-(1.155 \times 10\text{-}3 \times 60 \times 60)} = 0.1246 \times 10^{13}$ dps

تطبيقات العملية للنشاط الاشعاعي

1. تقدير عمر الآثار بواسطة الكاربون $^{14}_{6}C$

يدخل الكاربون في تركيب الكائنات الحية ويتولد بسبب الأشعة الكونية في الجو نتيجة قصف النتروجين الموجود في الجو بالأشعة الكونية من المعروف ان المادة العضوية تصل الى حد التوازن بين الكاربون فيها والكاربون في الجو. وبعد موت الكائن الحي يخرج التوازن الطبيعي ويتوقف الكائن الحي عن امتصاص C وتبدأ محتوياته من هذا النضير بالنقصان حسب قانون الانحلال الإشعاعي وبذلك فان قطعة أثرية مثلاً يمكن تقدير عمرها من معرفة نسبة الكاربون $^{14}_{6}C$ فيها وكما يلي :

$$A = A_o e^{-\lambda t} \implies$$

$$\frac{A}{A_o} = e^{-\lambda t} \implies$$

$$\ln\left(\frac{A_o}{A}\right) = \lambda t \implies$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A_o}{A} \Longrightarrow$$

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}}$$

$$\therefore t = \frac{t_{\frac{1}{2}}}{\ln(2)} \ln \frac{A_o}{A}$$

فاذا اعتمدنا عمر نصف الكاربون يساوي 5568 سنة وأن نسبة النشاط الإشعاعي لقطعة (A_o) قديمة إذا ما قورنت بقطعة مناظرة في الوقت الحالي (A)حية حديثة تكون معلومة فان عمر القطعة الأثرية يسهل إيجاده من خلال المعادلات أعلاه

مثال : عثر عالم آثار على قطعة خشب اثرية كتلتها (50g) ونشاط الكاربون فيها $^{14}_{6}C$ الإشعاعي هو 320Bq قدر عمر هذه القطعة اذا كان النشاط الاشعاعي النوعي لقطعة خشبية حية مشابهة لها هو (128 Bq) علماً أن عمر النصف ل هو 5568 سنة.

الحل :

$$A = A_o/m$$

$$12 = \frac{A_o}{50}$$

$$A_o = 600$$

$$\lambda = \frac{0.693}{t_{\frac{1}{2}}}$$

$$\lambda = \frac{0.693}{5568} \Longrightarrow 1.245 \times 10^{-4}\ y^{-1}$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{A_o}{A}\right) \Longrightarrow = \frac{1}{1.245 \times 10^{-4}} \ln(\frac{600}{320})$$

$$t = 5052\ y$$

2. تقدير عمر الصخور:

$$\boldsymbol{t = \frac{1}{\lambda_u}\ ln\left(1 + \frac{N_{pb}}{N_u}\right)}$$

حيث ان :

N_{pb} : العدد الكلي لنوى الرصاص

N_u: العدي الكلي لنوى اليورانيوم

λ_u: ثابت الانحلال اليورانيوم

t: العمر التقريبي للصخور

مثال:

ملح من أملاح اليورانيوم 238 وجد أنه يحتوي على نسبة ضئيلة جدا من الراديوم 226 وهذا الراديوم يتكون نتيجة للتفكك المتتابع لليورانيوم 238. فإذا كانت هذه النسبة هي عبارة عن ذرة واحد لكل 2.8×10^{6} ذرة يورانيوم، وإذا علمت أن العمر النصفي للراديوم هو 1620 سنة فما هو العمر النصفي لليورانيوم.

الحل:

من قانون الاتزان الأبدي:

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$

أي أن:

$$N_1 / N_2 = \lambda_2 / \lambda_1 = t_1 / t_2$$

حيث ، يرمزان للعمر النصفي لليورانيوم والراديوم بالترتيب، وبالتعويض في طرفي العلاقة الأخيرة فإن:

$$2.8 \times 10^6 \times 1620 = 1 \times t_1$$

أي أن:

$$t_1 = 4.54 \times 10^9 \text{ years}$$

التعرض: The exposure

التعرض فيقصد به كمية الاشعاعات ونوعه الذي يتعرض بها الفرد. يستخدم مصطلح التعرض بشكل عام ويستدل منه لمفهومين، بشكل عام وفيزيائي. وبالمعنى ذو الطابع العام قد يكون التعرض خارجيا (external exposure) ، أي ناتجا عن مصدر مشع موجود خارج الجسم وقد يكون داخليا (internal) أي ناتجا عن ادخال مادة مشعة داخل الجسم. حيث يكون له عدة أنواع متعددة منها التعرض المهني الأشخاص الذين يعملون في المجال الاشعاعي. وهناك نوع اخر من التعرض وهو تعرض الطبي أي تعرض المرضى بهدف تشخيص أمراضهم أو علاجها. أما المعنى الثاني فهو يعبر عن كمية فيزيائية محددة.

وفضلا عن ذلك، قد يوصف التعرض بالحاد acute exposure وهو ذلك التعرض الذي يودع كمية هائلة من الإشعاعات في المتعرض خلال فترة زمنية قصيرة دقائق أو ساعات أو حتى أيام قليلة، وقد يوصف بالمزمن(chronic exposure) وهو ذلك التعرض الذي يودع كميات قليلة من الإشعاع ولكن خلال فترة زمنية طويلة تمتد لعدة سنوات مثل تعرض العاملين المهنيين.

أما المفهوم الفيزيائي للتعرض فيقصد به كمية الإشعاعات المؤينة التي يتكبدها عضو أو نسيج من أعضاء أو أنسجة الكائن الحي، أو يتعرض لها جسمه ككل. فعند تعرض الخلايا الحية للإشعاعات المؤينة تمتص هذه الخلايا جزءا من الطاقة التي تحملها هذه الإشعاعات وربما الطاقة كلها. وهذه الطاقة الممتصة داخل الخلايا هي التي تؤدي إلى تلفها. وتجدر الإشارة إلى أن التعريف التاريخي الدقيق للتعرض، بالمفهوم الفيزيائي، هو تعرض الهواء الجاف للأشعة السينية او اشعة كاما منخفضة الطاقة (3MeV) عند ظروف اعتيادية.

التعرض: هو تعرض الهواء الجاف في الظروف المعيارية (أي عند درجة حرارة الصفر المئوي وعند ضغط يساوي 760mm ملليمتر زئبق) لكمية من الأشعة السينية أو إشعاعات غاما منخفضة الطاقة حتى 3 ميغا إلكترون فولط). ويقاس التعرض بكمية الشحنة الكهربائية (الموجبة أو السالبة) الناتجة عن التأين في وحدة الحجوم من الهواء الجوي الجاف في هذه الظروف أي أن:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

حيث: التعرض X، الشحنة dQ (الموجبة أو السالبة)، حجم من الهواء الجاف كتلته dm في الظروف المعيارية. ويقاس التعرض بوحدة عرفت باسم "رونتجن" Rontgen. وقد تم تعريف الرونتجن، في أول الأمر على أنه

1) كمية الإشعاعات السينية التي تؤدي إلى إنتاج شحنة كهربائية (سالبة أو موجبة) مقدارها وحدة كهرساكنة (esu) في سنتيمتر مكعب واحد من الهواء الجاف، عند الظروف المعيارية، أي أن:

$$1R = \frac{1(esu)}{1\,\mathrm{cm}^3(air)}$$

وبالتحويل من نظام الوحدات العملية (سم. غرام. ثانية)، إلى النظام الدولي للوحدات نجد أن الرونتجن هو: تعرض لكمية من الأشعة السينية أو إشعاعات غاما منخفضة الطاقة، تؤدي إلى توليد شحنة كهربائية (سالبة أو موجبة) مقدارها 2.58×10^{-4} كولوم في كغم واحد من الهواء الجاف، عند الظروف المعيارية. أي أن:

$I\,R = 2.58 \times 10^{-4}$ Coulomb/kg air

أي ان الرونتجن هو التعرض الذي يؤدي ال انتاج شحنة كهربائية موجبة و سالبة مقدارها 2.58×10^{-4} كولوم في كل كيلو جرام واحد من الهواء الجاف عند ظروف الجوية الاعتيادية.

الجرعة الممتصة: The absorbed dose

الجرعة الممتصة D : هي ناتج قسمة الطاقة المودعة المتوسطة $d\bar{E}$، التي أودعتها الجسيمات (الفوتونات) المؤينة، في عنصر من المادة تبلغ كتلته dm. أي أن الجرعة الممتصة D هي:

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm}$$

وتجدر الإشارة إلى أن الجرعة الممتصة تستخدم لجميع أنواع الإشعاعات المؤينة، سواء كانت مشحونة أو غير مشحونة، ولجميع الطاقات وكذلك لجميع المواد التي تسقط عليها الإشعاعات.

يعرف الراد على انه عبارة عن انتقال كمية من الطاقة لكل جرام من المادة الممتصة.

ووحدة قياس الجرعة الممتصة في النظام الدولي هي غري (Gy) "Gray" ، ومازالت الوحدة التقليدية للجرعة الممتصة وهي "راد" "rad" مستخدمة في بعض المراجع والأجهزة.

Gy = 100 rad

الجرعة المكافئة The equivalent dose

التأثير البيولوجي النسبي للإشعاع Relative biological effectiveness (RBE)

يختلف التأثير البيولوجي للإشعاع على أعضاء وأنسجة الجسم البشري، باختلاف نوع الأشعة، عندما تتساوى الجرعة الممتصة من هذه الإشعاعات، في هذا العضو. فمثلاً عند تساوي الجرعة الممتصة في كل من الأشعة السينية والنيوترونات، يكون الضرر في حالة النيوترونات، يزيد نحو عشرين ضعفا عن الضرر الناتج عن الأشعة السينية في نفس العضو أو النسيج. ولأخذ هذا الاختلاف بالحسبان أدخل مفهوم (الثقل الإشعاعي).

معامل الإشعاع المرجح (الثقل الإشعاعي) Radiation Weighting Factor W_R

يرتبط معامل الإشعاع المرجح بنوع الأشعة وبقدرتها على إحداث التأين. أي أنه يرتبط بمقدار التأين الحاصل في واحدة المسافة على مسار الإشعاع (الانتقال الخطي للطاقة LET) فكلما زاد معامل الانتقال الخطي للطاقة، زاد معامل الثقل الإشعاعي لهذه الإشعاعات. يبين الجدول (1) قيم معامل الثقل الإشعاعي للإشعاعات ذات الطاقات المختلفة.

جدول (3) معامل الإشعاع المرجح (الثقل الإشعاعي) Radiation Weighting Factor W_R

نوع الإشعاعات	طاقتها	عامل الإشعاع المرجح
فوتونات	جميع الطاقات	1
إلكترونات وميزونات	جميع الطاقات	1
	أقل من 10 keV	5
	من 10 حتى 100 keV	10
نيوترونات	من100 حتى 2 MeV	20
	من 2 حتى 20 MeV	10
	أعلى من 20 MeV	5
بروتونات	أكبر من 2 MeV	5
جسيمات ألفا ونوى خفيفة		20

يستعمل مصطلح الجرعة المكافئة H_{TR} لأغراض الوقاية من الإشعاع للتعبير عن ضرر الجسم البشري الناتج عن التعرض لجرعة ممتصة معينة من نوع معين من الإشعاعات. وهي تساوي حاصل ضرب الجرعة الممتصة

D_{TR} من نوع معين من الإشعاعات في معامل الثقل الإشعاعي W_R لهذه الأشعة عند الطاقة المحددة وعند نقطة ما في النسيج أو العضو البشري. أي أن:

وعند التعبير عن الجرعة الممتصة في النظام الدولي للوحدات "بالغري"، يكون التعبير عن $H_{TR} = D_{TR} \cdot W_R$

1سيفرت = 100 رِم

مثال:

أحسب الجرعة المكافئة لعامل يتعرض لجرعة ممتصة لكامل الجسم 8.4 mGy من أشعة كاما بالإضافة إلى جرعة ممتصة 1.2 mGy من نيترونات طاقتها 10 keV

الحل:

بالرجوع إلى الجدول - 1 ، نجد ان $W_{RY} = 1$:

$$H_{TR} = \Sigma_R W_R D_{TR}$$

$$= W_{RY} D_{TRY,} + W_{Rn} D_{Rn,} H_{TR} = 1 \times 8.4 + 10 \times 1.2 = 20.4 \text{ mSv}$$

مكافئ الجرعة الشخصية $H_p(d)$ The personnel dose equivalent

مكافئ الجرعة الشخصية $H_p(d)$ هو الجرعة المكافئة في الأنسجة البشرية الرخوة على عمق مناسب d، من نقطة معينة على الجسم. ويقاس مكافئ الجرعة الشخصية $H_p(d)$، بوحدة السيفرت في النظام الدولي للوحدات، في حين يقاس بالريم في النظام التقليدي. ويجب في جميع الحالات، تحديد العمق d بالملليمتر وهو 0,07 ملليمتر للأشعة ضعيفة النفاذ و10 ميلليمتر للأشعة شديدة النفاذ. وعموما يمكن قياس مكافئ الجرعة الشخصية باستخدام مقياس أشعة، يوضع على سطح الجسم، ويتم تغطيته بسمك ملائم من مادة مكافئة لمادة النسيج البشري.

الجرعة الفعالة: The effective dose (E)

معامل النسيج المرجح: The tissue weighting factor W_T

إن العلاقة بين احتمال حدوث التأثيرات العشوائية للضرر الإشعاعي، كالسرطان وغيره، وبين الجرعة المكافئة، تعتمد على نوع العضو أو النسيج المتعرض للإشعاع. بمعني آخر؛ هناك أعضاء وأنسجة بشرية أكثر استجابةً لحدوث السرطان من غيرها عند تساوي الجرعة المكافئة فيها. وهذا يدفعنا إلى تعيين كمية ترتبط بنوع العضو أو النسيج، وباحتمال إصابته بالتأثيرات العشوائية للإشعاع، وقد أطلقت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية على هذه الكمية اسم "العامل المرجح للعضو أو النسيج "W_T"، يمثل هذا العامل الإسهام النسبي للعضو أو النسيج المعين، في الضرر الكلي للتأثيرات الإشعاعية الناتجة عن تشعيع كامل الجسم البشري بمجال إشعاعي متجانس. يبين جدول (2) قيم العوامل المرجحة للأنسجة والأعضاء البشرية المختلفة.

الجرعة الفعالة E لكامل الجسم هي مجموع الجرعات المكافئة الموزونة بعامل الإشعاع المرجح، مضروبة بالعامل المرجح للنسيج أو العضو، أي أنها مجموع الجرعات المكافئة الموزونة بالعوامل المرجحة لكل عضو أو نسيج، وتحدد وفقا للعلاقة:

$$E = \sum_T W_T \; H_T$$

حيث:

H_T هي الجرعة المكافئة في العضو أو النسيج T

W_Tهو العامل المرجح لذلك العضو أو النسيج T

ويتم الجمع لجميع أعضاء وأنسجة الجسم. وباستخدام تعريف الجرعة المكافئة لكل عضو أو نسيج، H_T فإنه يمكن حساب الجرعة الفعالة لكامل الجسم وفق العلاقة التالية:

$$E = \sum_T W_T \sum_R D_{TR} \; W_R$$

الجدول(4) العوامل المرجحة للأنسجة والأعضاء البشرية

العضو	عامل النسيج المرجح W_T
الغدد التناسلية	0.20
النخاع العظمي الأحمر	0.12
القولون	0.12
الرئتين	0.12
المعدة	0.12
المثانة	0.05
الصدر	0.05
الكبد	0.05
الإثنى عشر	0.05
الغدد الدرقية	0.05
الجلد	0.01
سطح العظام	0.01
باقي الأعضاء	0.05
كامل الجسم	1

مثال: الجرعة الفعالة الناتجة عن جرعة مكافئة 1 mSv للرئة تساوي الجرعة الفعالة الناتجة عن جرعة مكافئة للغدة الدرقية مقدارها 2.4 mSv أي أن لهما الخطورة نفسها على كامل الجسم من الآثار العشوائية للإشعاع.

$$E = \sum_T W_T \; H_T$$

E = 0.12 X 1 = 0.12 mSv للرئة

E = 0.05 X 2.4 = 0.12 mSv للغدة الدرقية

يعني هذا، أن جرعتين مكافئتين مختلفتين لعضوين مختلفين يمكن أن يكون لهما جرع فعالة متساوية عددياً أي لهما نفس الضرر على كامل الجسم.

مثال: تعرضت أنسجة وأعضاء أحد فنيي المختبرات الطبية، التي يتم فيها تداول المواد المشعة، خلال عام بسبب ادخال المواد المشعة وبسبب التعرض الخارجي إلى الجرعات التالية : 150mrem (1.5mSv) للرئتين، 500mrem (5 mSv) للمعدة، 100 mrem (1 mSv) للاثنى عشر ، 250 mrem (2.5mSv) للقولون ، 50mrem (5mSv) للغدد التناسلية.

احسب الجرعة الفعالة التي حصل عليها هذا الفني بـ (mrem) و (mSv).

الحل :

باستخدام العلاقة اعلاه والتعويض عن الجرعة المكافئة H للأعضاء والأنسجة بوحدات سيفرت أو أجزائه، وبإيجاد قيم العوامل المرجحة W للأنسجة والأعضاء من جدول (27) تكون الجرعة الفعالة بالسيفرت أو أجزائه هي:

$$E = \sum_T W_T H_T$$

T = (0.12 x150) + (0.12 x 5 +0.05) x (1 +0.12 x 2.5) + (0.20 x 0.5)

= (0.18) + (0.6) + (0.05) + (0.3) + (0.1)

= 1.23 m Sv

أي أن الجرعة الفعالة للجسم كله هي 1.23 ميللي سيفرت.

ولحساب المطلوب بالميللي رم (mrem) تستخدم وحدة ميللي رم للتعبير عن الجرعة المكافئة H وتكون الجرعة الفعالة هي:

E= (0.12x150) + (0.12x500) + (0.05x100) + (0.12x250) + (0.20x50)

= 18 + 60 + 5 + 30 + 10

= 123 mrem

أي أن الجرعة الفعالة للجسم كله هي 123 ميللي رم (mrem).

الجرعة الفعالة الجماعية (E_c) The collective effective dose

هي عبارة عن مجموع الجرعات الفعالة التي تودع في مجموعة بشرية محددة. وعند تساوي متوسط الجرعة الفعالة التي تودع في جميع أفراد المجموعة تكون الجرعة الفعالة الجماعية E هي عبارة عن حاصل ضرب متوسط الجرعة الفعالة للفرد E في عدد الأفراد المتعرضين، أي أن:

$E_c = E \times n$

حيث:

n = عدد الأفراد.

وتقاس الجرعة الجماعية بوحدة فرد سيفرت. Man.Sievert

معدل الجرعة D^* The dose rate

تعبر وحدات الغراي والسيفرت أو (الراد والرم)، بالترتيب عن مقدار الجرعة الممتصة والجرعة المكافئة أو الفعالة التي حصل عليها عضو أو شخص ما خلال مدة زمنية معينة t. ولتقدير قيمة الجرعة التي يتعرض اليها الشخص خلال زمن معين فإنه يجب معرفة ما هو قيمة يسمى بمعدل الجرعة D^*.

ومعدل الجرعة D^* في مكان ما ,I هو قيمة الجرعة التي يحصل عليها العضو أو الإنسان في وحدة الزمن، عند وجوده في هذا المكان، أي أن:

$$D = D^* \times t$$

مثال: إذا كانت الجرعة الفعالة المسموح بها في الأسبوع هي 0.4 mSv. فاحسب الزمن الذي يسمح خلاله لشخص ما بالوجود داخل مختبر في الأسبوع إذا كان معدل الجرعة الفعالة داخل هذا المختبر هو $100\ \mu Sv/hr$.

الحل :

الزمن المسموح به لوجود الشخص داخل المختبر خلال الأسبوع كله هو :

$$D = D^* \times t$$

$$t = D/D^*$$

$$= 0.4 \times 10^{-3} / 100 \times 10^{-6}$$

$$= 0.4 \times 10 \quad \Longrightarrow \quad 4 \text{ hours}$$

الفترة مسموح به للشخص هي 4 ساعات خلال الأسبوع

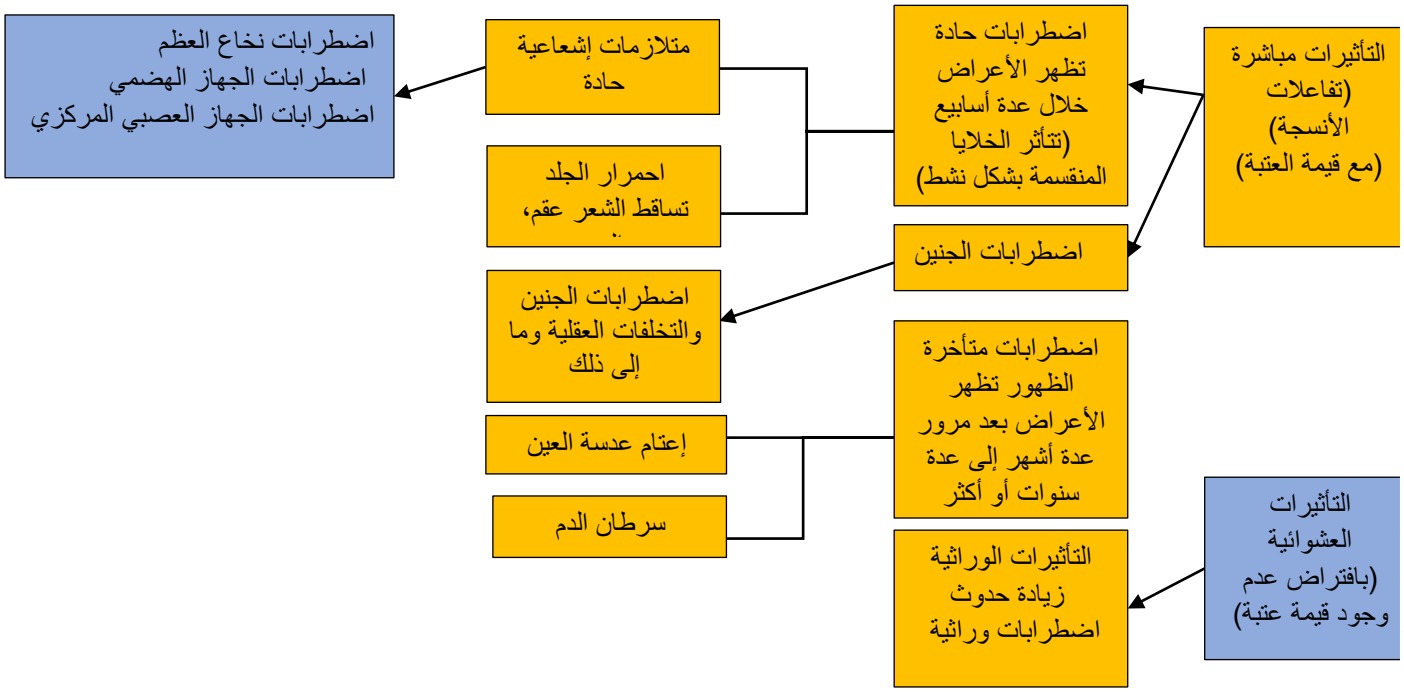
تأثير الاشعاع على الخلايا

تعتمد التأثيرات الجسدية للإشعاع على كمية التعرض، وليس على ما إذا كان الشخص قد تعرض للإشعاع أم لا. يعتمد ظهور أي تأثيرات كبيرة على جسم الإنسان نتيجة التعرض للإشعاع على ما إذا كان التعرض داخليًا أم خارجيًا، أو تعرضًا للجسم بالكامل أم تعرضًا موضعيًا. كما يمكن اخذ بنظر الاعتبار كمية الإشعاع، أو مدة التعرض.

عند النظر في التأثيرات الصحية للإشعاع على جسم الإنسان، فإن إحدى الطرق هي النظر بشكل منفصل إلى التأثيرات العشوائية والتأثيرات الحتمية (تفاعلات الأنسجة). لا تظهر التأثيرات الحتمية (تفاعلات الأنسجة) إلا بعد التعرض للإشعاع بما يتجاوز مستوى معينًا. يتم تصنيف معظم التأثيرات الحتمية إلى اضطرابات حادة تظهر أعراضها في غضون عدة أسابيع بعد التعرض. التأثيرات العشوائية هي التأثيرات التي لا يمكن تجاهل حدوثها تمامًا حتى مع التعرض لجرعات منخفضة. يتم التعامل مع جرعات التعرض على الجانب الآمن بشكل عام على افتراض عدم وجود قيمة عتبة.

أنواع التأثيرات الاشعاعية على جسم البشري

ينبغي إيلاء الاعتبار للآثار الصحية التي تنشأ بعد التعرض للإشعاع، وكمية التعرض، والأجزاء المعرضة للإشعاع (التعرض لكامل الجسم أو التعرض الموضعي)، وحالة التعرض بمرور الوقت (حاد أو مزمن). كما موضح في المخطط ادناه.



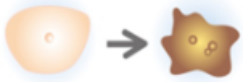
تصنف التأثيرات الإشعاعية إلى تأثيرات فيزيائية تظهر لدى الشخص المتعرض للإشعاع تأثيرات وراثية تظهر لدى أبنائه أو أحفاده. كما يمكن تصنيف التأثيرات الإشعاعية حسب طول الفترة الزمنية التي تستغرقها ظهور أي أعراض بعد التعرض. أي أن هناك تأثيرات حادة (تأثيرات مبكرة) تظهر في وقت مبكر نسبيًا بعد التعرض وتأثيرات متأخرة تظهر بعد مرور عدة أشهر. يعتمد تصنيف آخر على الاختلاف في آليات ظهور التأثيرات الإشعاعية، أي التأثيرات الحتمية (تفاعلات الأنسجة) والتأثيرات العشوائية.

التأثيرات الحتمية (تفاعلات الأنسجة) هي الأعراض الناجمة عن موت أو تدهور عدد من الخلايا المكونة للأعضاء والأنسجة. على سبيل المثال، بعد التعرض لكمية كبيرة نسبيًا من الإشعاع، قد تحدث إصابة في الجلد أو انخفاض في عدد خلايا الدم بسبب تدهور القدرة على تكوين الدم في غضون عدة أسابيع (متلازمة الإشعاع الحادة). قد يسبب التعرض لكمية كبيرة من الإشعاع أثناء الحمل بعض التأثيرات على الجنين وقد يؤدي التعرض للإشعاع في العين إلى إعتام عدسة العين بعد فترة.

من ناحية أخرى، تحدث التأثيرات العشوائية نتيجة لطفرة جينات الخلايا، مثل السرطان والتأثيرات الوراثية. قد يؤدي الإشعاع إلى إتلاف الحمض النووي، مما قد يؤدي إلى حدوث طفرة جينية. من غير المرجح أن تؤدي كل طفرة إلى أمراض، ولكن من الناحية النظرية، لا يمكن تجاهل إمكانية التسبب في السرطان أو التأثيرات الوراثية

تمامًا. لذلك، فيما يتعلق بالسرطان أو التأثيرات الوراثية، يتم التعامل مع جرعات التعرض على الجانب الآمن على افتراض عدم وجود جرعة عتبة.

جدول (5) يوضح نوع التأثيرات الاشعاعية ونتائج في جسم البشري

نوع التأثير	فترة الحضانة	آلية ظهور تأثيرات الإشعاع	مثال	شكل الخلية
التأثيرات الفيزياوية	عدة أسابيع تأثيرات حادة او مبكرة	التأثيرات المباشرة تتفاعل الأنسجة مع الاشعة المتعرضة ينتج موت الخلايا	مرض جلدي حاد تساقط الشعر	
التأثيرات الوراثية	بعد مرور عدة أشهر تأثيرات متأخرة	التأثيرات العشوائية بسبب الطفرات التي تحدث في الخلايا	التطور غير طبيعي للجنين (تشوه) عتامة العدسة السرطان و سرطان الدم الاضطرابات الوراثية	

التأثيرات العشوائية بسبب الطفرة الوراثية

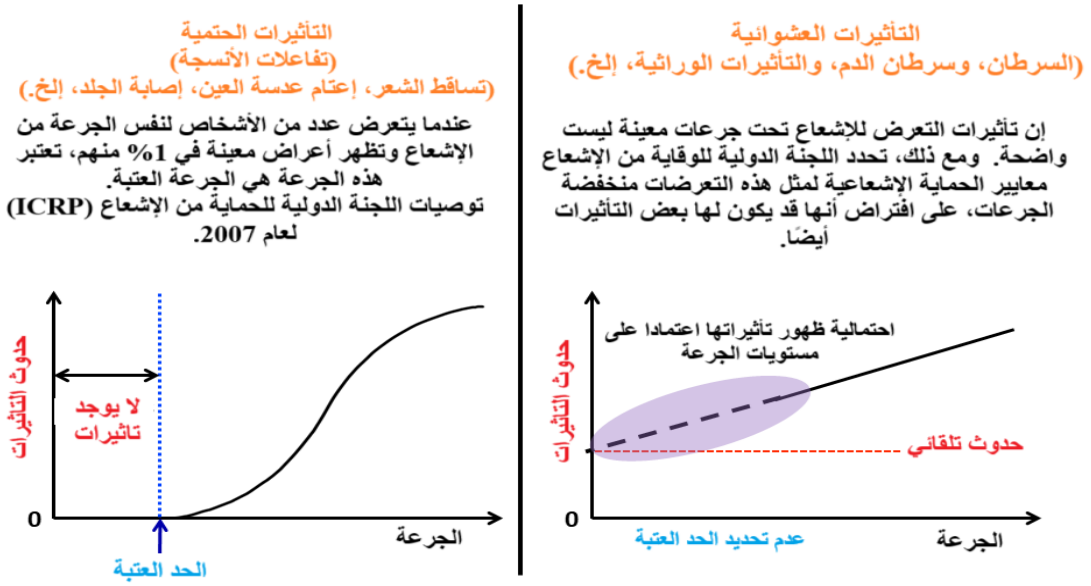
عندما يتعرض جسم البشري الى اشعاع تظهر مجموعة من الاعراض عليه منها:

1. الأعراض الرئيسية هي القيء خلال عدة ساعات بعد التعرض، استمرار الإسهال لعدة أيام إلى عدة أسابيع، انخفاض عدد خلايا الدم، النزيف، تساقط الشعر، العقم المؤقت عند الذكور، إلخ.

2. ولا تظهر التأثيرات الحتمية إلا بعد التعرض لإشعاع يتجاوز مستوى جرعة معينة. أي أن هناك تأثيرات حادة (تأثيرات مبكرة) تظهر مبكرًا نسبيًا بعد التعرض وتأثيرات متأخرة تظهر بعد انقضاء سبع سنوات.

إن إحدى خصائص التأثيرات الحتمية (تفاعلات الأنسجة) هي وجود جرعة عتبة، وهذا يعني أن التعرض للإشعاع تحت هذا المستوى لا يسبب أي تأثيرات ولكن التعرض للإشعاع فوق هذا المستوى يسبب تأثيرات. إن التعرض للإشعاع فوق جرعة العتبة يسبب موت أو انحلال عدد كبير من الخلايا في وقت واحد ويزداد معدل الإصابة بشكل حاد. من ناحية أخرى، في الحماية الإشعاعية، يُفترض أنه لا توجد جرعة عتبة للتأثيرات العشوائية. بموجب هذا الافتراض، لا يمكن القضاء على احتمال أن التعرض للإشعاع حتى عند جرعات منخفضة للغاية قد يمارس بعض التأثيرات. من الصعب جدًا اكتشاف التأثيرات العشوائية بشكل وبائي بسبب التعرض للإشعاع عند جرعات منخفضة أقل من نطاق 100 إلى 200 ميكرو سيفرت، لكن اللجنة الدولية للوقاية من

الإشعاع تحدد معايير الحماية الإشعاعية للتعرض بجرعات منخفضة، على افتراض أن التأثيرات ستظهر اعتمادًا على مستويات الجرعة (الاستجابة الخطية للجرعة).



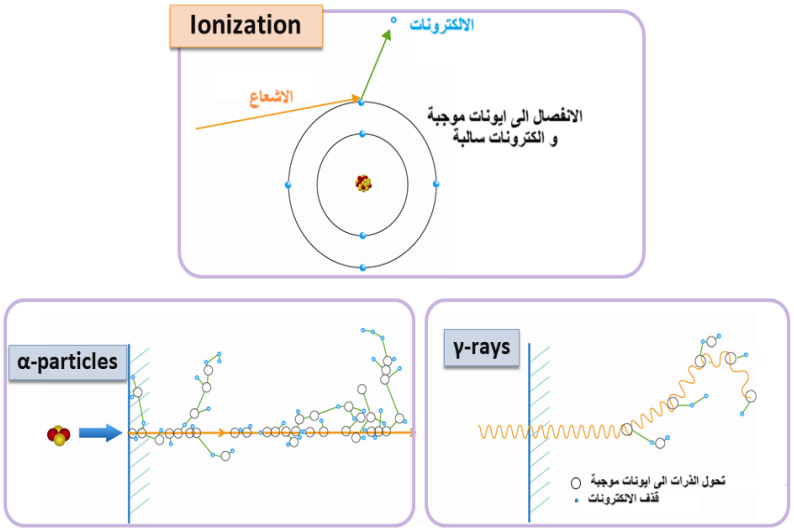
شكل (6) يوضح نوع التأثيرات الاشعاعية لجسم البشري

ومن المعروف أن مخاطر الإصابة بالسرطان تزداد بشكل خطي تقريبًا مع زيادة جرعات التعرض فوق حوالي 150 ميكروسيفرت. ومع ذلك، ليس من الواضح ما إذا كانت المخاطر تزداد أيضًا بشكل خطي في حالة التعرض للإشعاع بجرعات أقل من 150 ميكروسيفرت. بالإضافة إلى ذلك، كشفت التجارب التي أجريت باستخدام الحيوانات أو الخلايا المزروعة أن مقارنة التعرض لجرعات عالية في وقت قصير كما تعرض لها الناجون من القنبلة الذرية والتعرض لجرعات منخفضة على مدى فترة طويلة من الزمن، فإن الأخير يشكل مخاطر أقل عندما تكون جرعات التعرض الإجمالية هي نفسها.

الإشعاع المؤين الذي يسبب التأين المواد إما بشكل مباشر أو غير مباشر

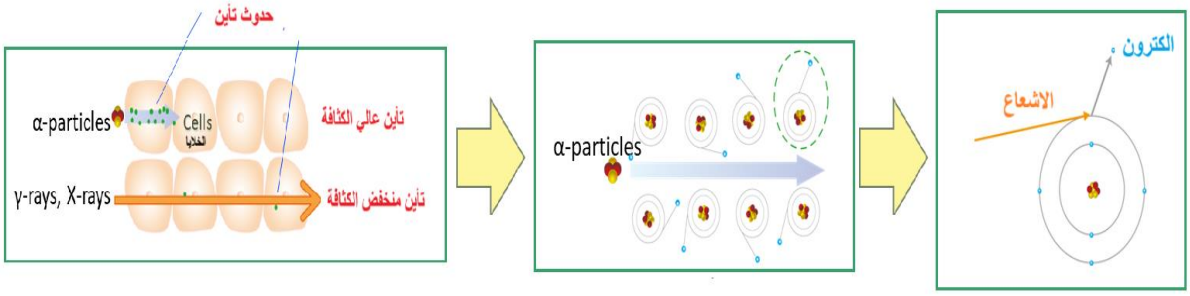
عندما يمر الإشعاع عبر مادة ما، فإن طاقته تتسبب في طرد الإلكترونات المدارية للذرات التي تتكون منها المادة، مما يؤدي إلى فصل الذرات إلى ذرات مشحونة إيجابيا (أو جزيئات أيونات موجبة) وإلكترونات حرة. وهذا ما يسمى بالتأين.

تعمل الجسيمات المشحونة، مثل جسيمات ألفا وجسيمات بيتا، على تأين المواد بشكل مباشر. وعلى وجه الخصوص، تتمتع جسيمات ألفا بكثافة تأين عالية، مما يتسبب في تأين بكثافة أعلى بمئات المرات من كثافة جسيمات بيتا، إلخ. تعمل أشعة غاما والأشعة السينية على تأين المواد بشكل غير مباشر باستخدام الإلكترونات الثانوية المتولدة من خلال تفاعلها مع المواد. توفر الإشعاعات الطاقة للمواد على طول مسارها. يتم إخراج الإلكترونات من المواد على طول المسار بالطاقة المعطاة. هذا هو التأين.



شكل (7) حالات التاين للمادة بواسطة الجسيمات المشحونة

تختلف كثافة الطاقة التي توفرها الإشعاعات حسب نوع الإشعاع بالمقارنة مع جسيمات بيتا وأشعة جاما، توفر جسيمات ألفا طاقة بشكل أكثر كثافة للمواد في مساحة صغيرة للغاية. وبسبب هذا الاختلاف في كثافة التأين، يختلف الضرر الذي يلحق بالخلايا حتى مع نفس الجرعة الممتصة.



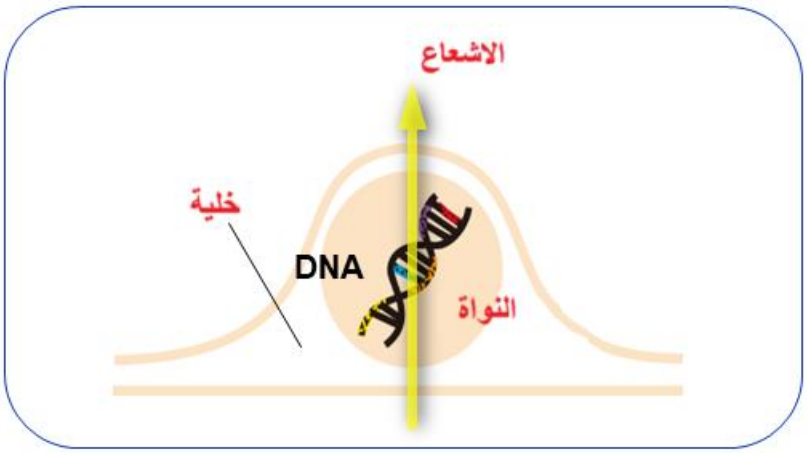
شكل (8) كيفية تأين الجسيمات المشحونة مع المادة

تلف وإصلاح الحمض النووي

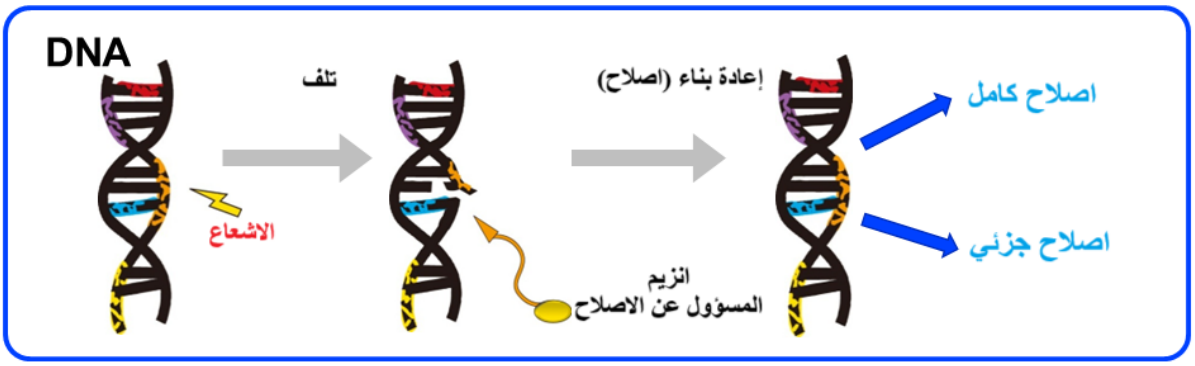
تحتوي الخلايا على الحمض النووي DNA يعتبر المخطط الأساسي للحياة. يتكون الحمض النووي DNA من سلسلتين من السكر والفوسفات وأربع قواعد مختلفة. وبما أن المعلومات الوراثية مدمجة في ترتيب هذه القواعد، فإن القواعد تتحد بقوة لتعمل بشكل متبادل كقالب من أجل الحفاظ على الترتيب. عندما يتعرض الحمض النووي للإشعاع، فقد يتلف جزئيًا اعتمادًا على كمية الإشعاع.

يُعتقد أن 1 mGy من الأشعة السينية تسبب كسرًا في سلسلة واحدة في موقع واحد لكل خلية كمعدل. يحدث كسر السلسلة المزدوجة أقل في 0.04 موقع. لذلك، عندما تتعرض 100 خلية بالتساوي لـ 1mGy من الأشعة السينية، تحدث كسر السلسلة المزدوجة في أربع خلايا. لا يتلف الحمض النووي DNA فقط بالإشعاع ولكن أيضًا بالمواد المسرطنة الموجودة في الأطعمة والتبغ والمواد الكيميائية الموجودة في البيئة.

كما هو معروف بإن الحمض النووي يتلف في 10000 إلى 1000000 موقع لكل خلية كل يوم. للخلايا وظائف لإصلاح الحمض النووي التالف. يتم إصلاح الحمض النووي التالف من خلال عمل إنزيمات الإصلاح. هناك حالات يتم فيها إصلاح الحمض النووي بالكامل وإصلاحه جزئيًا أو جزئيًا.



شكل (9) تعرض الحمض النووي DNA الى اشعاع

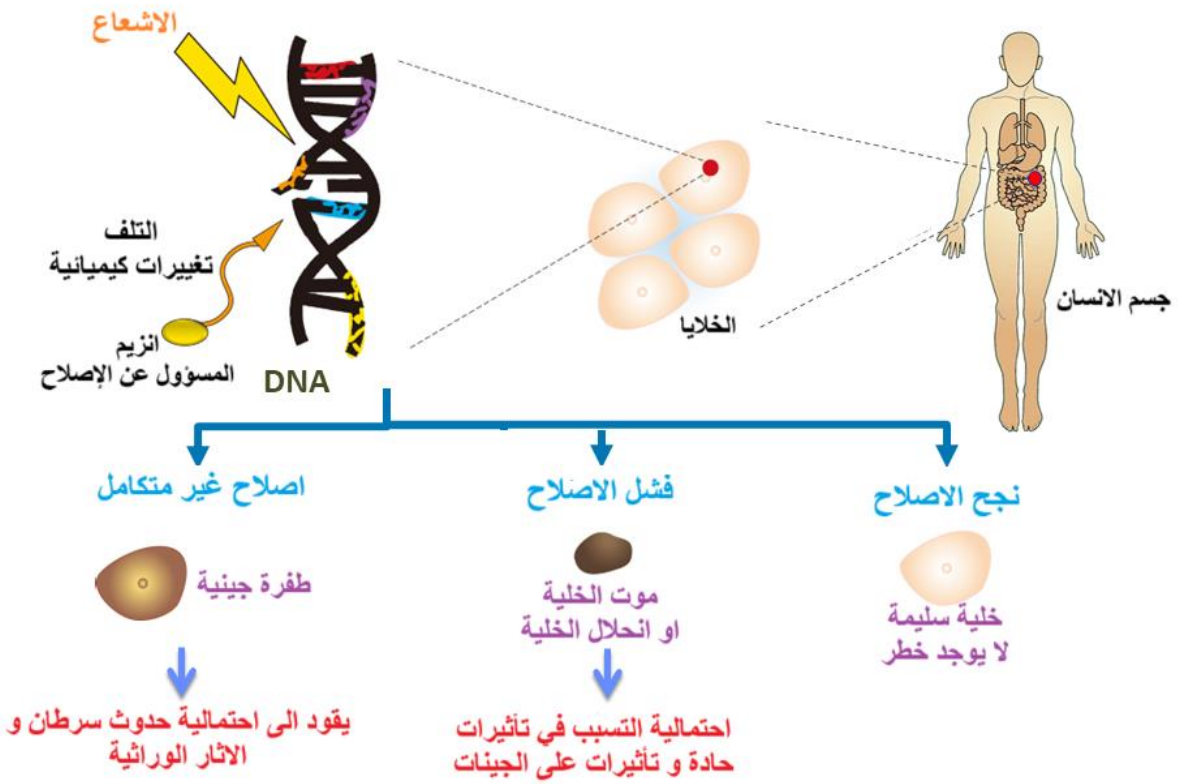


شكل (10) الية اصلاح الحمض النووي DNA المتعرض للإشعاع

مراحل إعادة بناء الحمض النووي DNA المتعرض للإشعاع

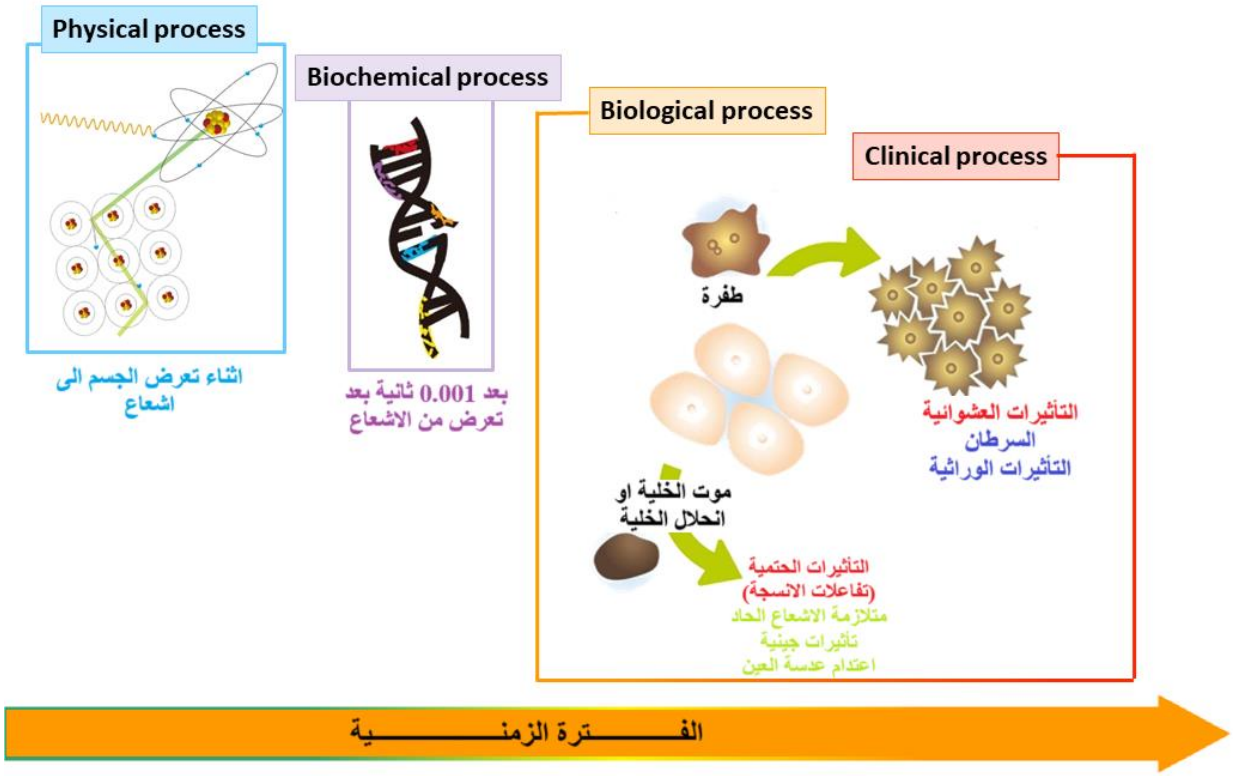
عند النظر عن كثب إلى الجزء المشع، قد يؤدي الإشعاع بشكل مباشر أو غير مباشر إلى إتلاف تسلسلات الحمض النووي للجين. يتم إصلاح تسلسلات الحمض النووي التالفة هذه بواسطة نظام موجود مسبقًا في الجسم. يتم إصلاح الضرر الطفيف واستعادته بنجاح. ومع ذلك، عندما تتلف أجزاء كثيرة، لا يمكن إصلاحها بالكامل وتموت الخلايا نفسها. حتى عندما تموت بعض الخلايا، إذا كانت خلايا أخرى قادرة على استبدالها، لا يحدث خلل في الأعضاء والأنسجة. ومع ذلك، عندما يموت عدد كبير من الخلايا أو يتحلل، فهناك احتمال ظهور تأثيرات حتمية (تفاعلات الأنسجة)، مثل تساقط الشعر، وإعتام عدسة العين، وإصابة الجلد أو اضطرابات حادة أخرى، وكذلك اضطرابات الجنين .عندما تبقى الخلية التي لم يتم إصلاح الحمض النووي فيها بالكامل على قيد الحياة، فقد يتحور جين الخلية ويسبب تأثيرًا عشوائيًا مثل السرطان أو التأثير الوراثي.

الضرر الناتج عن التعرض لجرعات منخفضة نادر بشكل كبير مقارنة بتلف الحمض النووي الأيضي. ومع ذلك، يوفر الإشعاع الطاقة محليًا ويسبب ضررًا معقدًا يؤثر على أجزاء متعددة في خيوط الحمض النووي. حوالي 85٪ من تأثيرات الإشعاع ناتجة عن الأكسجين التفاعلي، وحوالي 15٪ هو ضرر مباشر بالإشعاع.



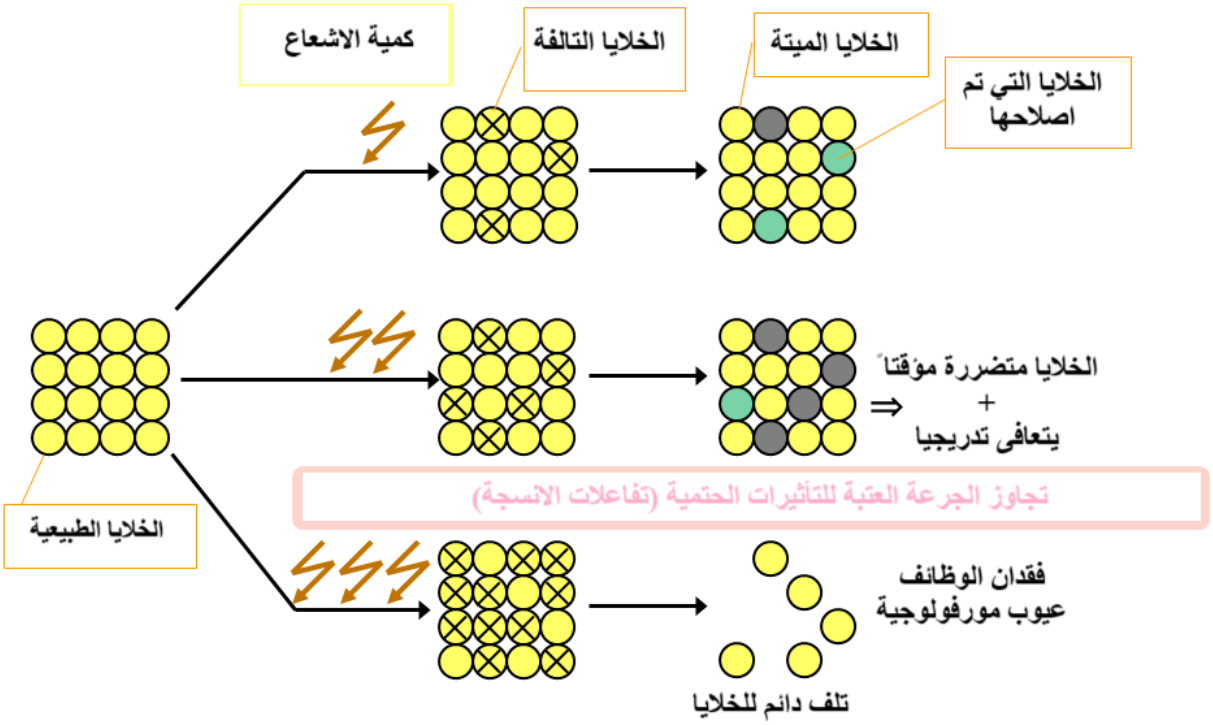
شكل (11) حالات الخلية المتعرضة للإشعاع

تحدث هذه التغييرات خلال فترة قصيرة جدا لا تتجاوز ألف جزء من الثانية بعد التعرض للإشعاع، يحدث تكسر الحمض النووي وتلف القواعد. وفي ثانية واحدة بعد التعرض للإشعاع، يبدأ إصلاح الحمض النووي، وإذا فشل الإصلاح، تحدث موت الخلايا والتحور في غضون ساعة إلى يوم واحد. ويستغرق الأمر بعض الوقت حتى يتطور هذا التفاعل على مستوى الخلية إلى أعراض سريرية على مستوى الفرد. وتسمى هذه الفترة بفترة الحضانة. تسمى التأثيرات التي تظهر الأعراض بسببها في غضون عدة أسابيع بالتأثيرات الحادة (المبكرة)، في حين تسمى التأثيرات التي تظهر الأعراض بعد فترة طويلة نسبيًا من الزمن بالتأثيرات المتأخرة. وعلى وجه الخصوص، يستغرق الأمر عدة سنوات إلى عقود حتى يصاب الشخص بالسرطان.



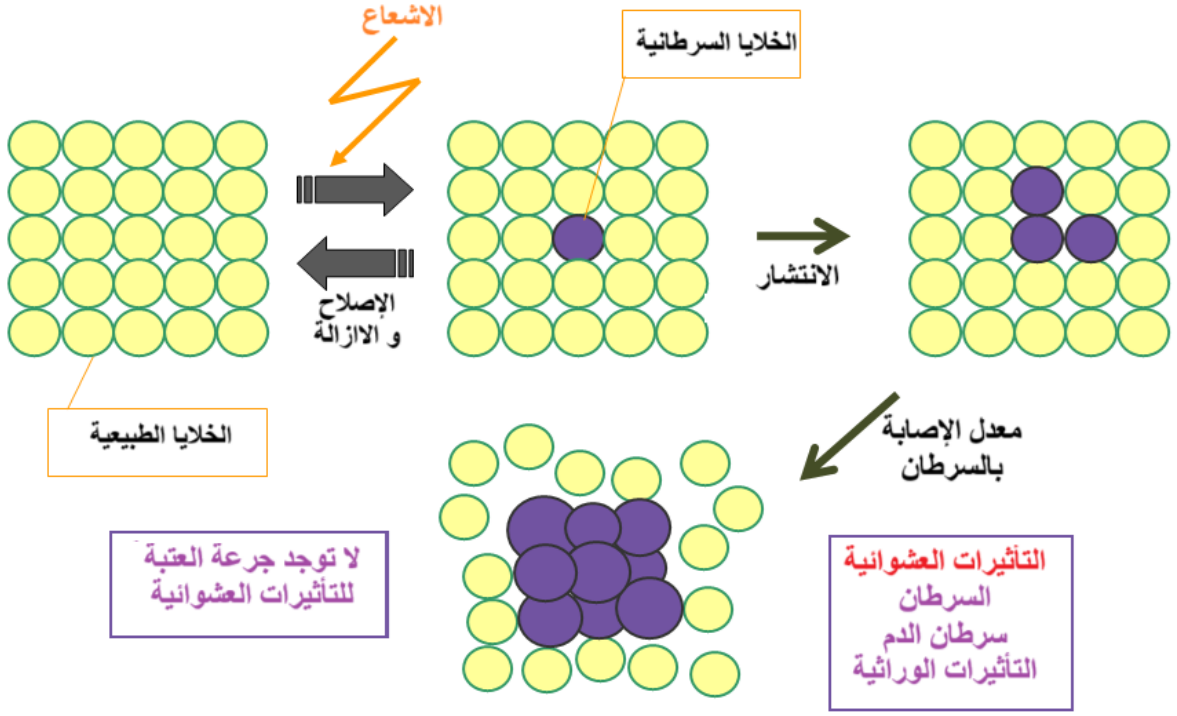
شكل (12) فترات الزمنية التي تمر فيها الخلية المتعرضة للإشعاع

حتى لو ماتت بعض الخلايا بسبب التعرض لكمية صغيرة من الإشعاع، إذا كانت الأنسجة والأعضاء قادرة على العمل بشكل كامل بالخلايا المتبقية، فإن الأعراض السريرية لا تظهر. عندما تزداد كمية الإشعاع ويموت عدد أكبر من الخلايا، تعاني الأنسجة والأعضاء ذات الصلة من خلل مؤقت وقد تظهر بعض الأعراض السريرية. ومع ذلك، تتحسن هذه الأعراض عندما تتكاثر الخلايا الطبيعية ويزداد عددها. عندما تتضرر الخلايا في الأنسجة أو الأعضاء بشدة بسبب كمية كبيرة من الإشعاع، فقد يؤدي هذا إلى تلف دائم للخلايا أو عيوب مورفولوجية.



شكل (13) حالات الخلية المتعرضة للإشعاع بكميات مختلفة

يتم إصلاح الخلايا المتحولة أو القضاء عليها في الغالب ولكن بعضها يبقى على قيد الحياة وإذا تعرضت الخلايا المنحدرة منها إلى طفرة إضافية أو تغير مستوى التعبير الجيني، فإن احتمالية تطور الخلايا السرطانية تزداد. يؤدي تكاثر الخلايا السرطانية إلى الإصابة بالسرطان الذي يتم تشخيصه سريريًا (يتم تشخيصه من قبل الطبيب بناءً على الأعراض الجسدية). تصبح الخلايا سرطانية مع تراكم جينات متحولة متعددة دون إصلاحها. لذلك، عند تقييم التأثيرات المسببة للسرطان، يجب أخذ جميع الجرعات التي تلقاها الشخص حتى الآن في الاعتبار.



شكل (14) الطفرة الخلوية والتأثيرات العشوائية

تعتبر مخاطر تأثيرات الطفرة الخلوية متزايدة حتى لو حدثت الطفرة في خلية واحدة. تميل الخلايا التي تنقسم بنشاط والتي تكون أقل تمايزًا إلى إظهار حساسية إشعاعية أعلى. على سبيل المثال، تتمايز الخلايا الجذعية المكونة للدم في نخاع العظم إلى خلايا دم مختلفة، أثناء الانقسام النشط. الخلايا المكونة للدم غير الناضجة (غير المتمايزة) التي انقسمت (تكاثرت) من الخلايا الجذعية حساسة للغاية للإشعاع وتموت بسبب كمية صغيرة من الإشعاع بسهولة أكبر من الخلايا المتمايزة. ونتيجة لذلك، يتم تعليق إمداد خلايا الدم ويقل عدد الأنواع المختلفة من الخلايا في الدم. بالإضافة إلى ذلك، يتم استقلاب ظهارة الجهاز الهضمي باستمرار وهي أيضًا حساسة للغاية للإشعاع. من ناحية أخرى، من المعروف أن الأنسجة العصبية والأنسجة العضلية، التي لم تعد تخضع لانقسام الخلايا في مرحلة البلوغ تكون مقاومة للإشعاع.

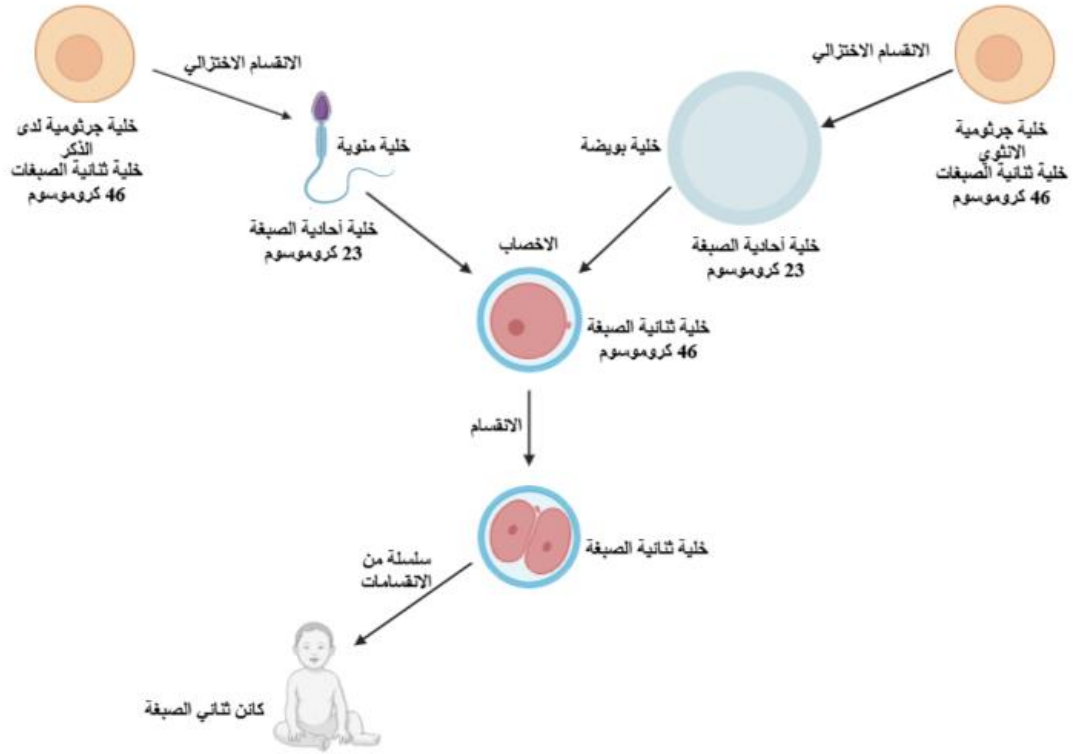
شكل (15) حساسية أعضاء الجسم من كمية الاشعاع

تأثر اعضاء الجسم بالإشعاع

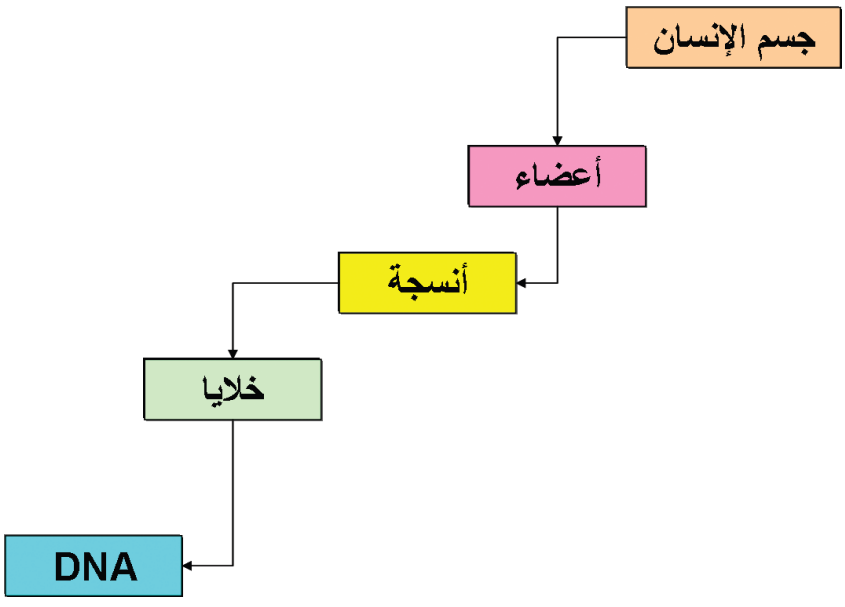
تتكون جميع الكائنات الحية من خلية واحدة أو أكثر. يتكون كل جزء من كائن الحي من خلايا أو تم بناؤها بواسطة هذه الخلايا. يُطلق على عدد كبير من الخلايا من أي نوع معين اسم الأنسجة. إذا شكل هذا النسيج وحدة وظيفية متخصصة، يُطلق عليه اسم العضو. تأتي خلايا الجسم في نوعين - الخلايا الجرثومية (الحيوانات المنوية والبويضات) في الجهاز التناسلي) والخلايا الجسدية في كل مكان آخر. تحتوي كل خلية على مجموعة كاملة من الكروموسومات؛ وهي هياكل تشبه الخيوط تتكون من الحمض النووي. تحتوي الخلايا الجسدية لدى الإنسان على ثلاثة وعشرين زوجًا من الكروموسومات (يختلف هذا العدد باختلاف أنواع الحيوانات). تحتوي الخلايا المنوية لدى الذكور وخلايا البويضات لدى الإناث (كلاهما يسمى الخلايا الجرثومية) على نصف العدد المعتاد من الكروموسومات. تحتوي هذه الخلايا الجرثومية لدى البشر على 23 كروموسومًا فرديًا.

تنتج الخلايا الجرثومية في الغدد التناسلية عند الانسان. وتتكون الخلية الأولى للإنسان الجديد عندما تتحد خلية منوية مع خلية بويضة. يحتوي كل من الحيوان المنوي والبويضة على 23 كروموسومًا، تندمج لتكوين الأزواج الثلاثة والعشرين الطبيعية. وهذا يسمح للنسل بالحصول على خصائص من كلا الوالدين. تتطور هذه الخلية المفردة إلى فرد جديد من خلال عملية انقسام الخلايا، والتي يتم خلالها نقل المعلومات الموجودة في الخلية الأصلية بدقة إلى كل من الخلايا "الابنة". ستنمو هذه الخلايا وتنقسم مرة أخرى إلى إجمالي أربع، ثم ثماني وهكذا. تحدث مليارات من انقسامات الخلايا هذه أثناء تكوين الفرد الجديد. فبعضها سيشكل المخ والحبل الشوكي، وبعضها الآخر سيشكل الكلى والأمعاء والجلد، إلخ. ولاحظ أن المخطط الوراثي الموجود في الكروموسومات يتضمن التعليمات اللازمة لصنع خلايا جرثومية جديدة، وبالتالي يمكن نقل خصائص فرد واحد إلى أجيال عديدة. عمليات انقسام الخلايا موضح في الشكل ادناه.

كما هو معروف بان الجسم البشري يتكون من أعضاء. والعضو عبارة عن نسيج. والنسيج مجموعة من الخلايا و اللبنة الأساسية لبناء الخلايا هي الحمض النووي.



شكل (16) عملية انقسام الخلايا

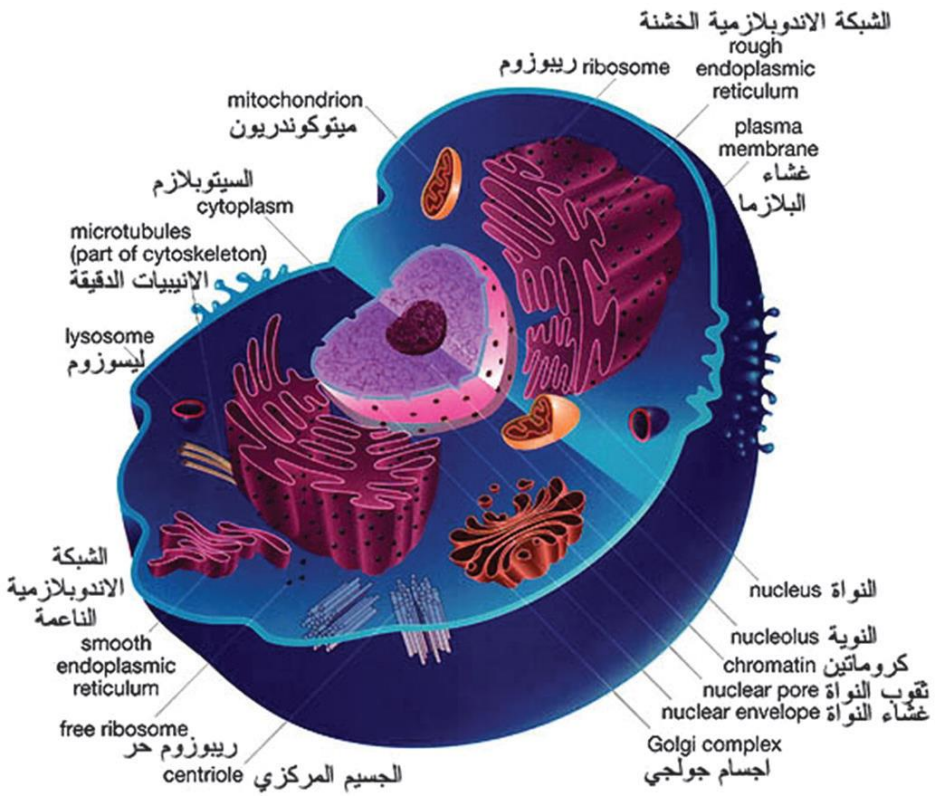


شكل (17) مكونات الجسم البشري

الخلية الحيوانية

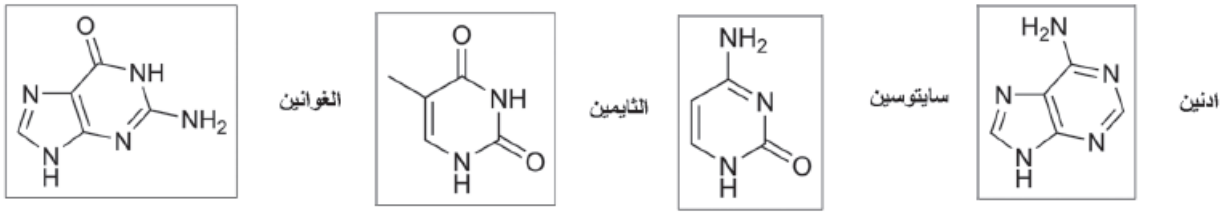
ويتكون من طبقتين (Cell Membrane) الغشاء الخلوي من الدهون الفسفورية يتخللها بروتينات. السيتوبلازم هو محلول شبه لزج يحتوي على العضيات الخلوية ويكون محيطاً بالنواة.

الشبكة الأندوبلازمية Endoplasmic Reticulum هناك نوعان منها الناعم ووظيفتها إنتاج الدهون اما الخشن لإنتاج وتعديل البروتينات. والليسوسومات التي تحتوي على أنزيمات هضمية تقوم بتكسير الجزيئات والمواد. كما تحتوي الخلايا الحيوانية على جهاز جولجيGolgi Apparatus والذي يقوم بتعديل البروتينات والدهون. و الريبوزومات Ribosome's تتكون من rRNA وبروتينات تكون في مجموعات أو مفردة، مكان إنتاج البروتينات .والميتوكوندر Mitochondria الذي يعتبر مركز انتاج الطاقة. كما موضح في الشكل ادناه.



شكل (18) الخلية الحيوانية

كما تحتوي جميع الخلايا الجسمية والجنسية على النواة و الي يعتبر أساس الخلايا الحية و التي تحتوي على مادة الكروماتين المكونة من الحمض النووي الرايبوزي RNA والحمض النووي الريبوزي منقوص الاوكسجين DNA وبروتينات محاطة بالغلاف النووي. كما هو معروف بان DNA تعتبر مركز العمليات في الخلية لاحتوائها على المادة الوراثية و الذ ي تم اكتشافها من قبل العالمان واطسون وكريك واللذان نالا على اكتشافه جائزة نوبل في عام 1962. وهو الوحدة البنائية للخلايا الجسمية والجنسية والذي يتكون من سكر الريبوز منقوص الأكسجين وفوسفات (يعطي المركب حمضية) والقواعد النتروجينية مثل الادنين A والغوانين G و السايتوسين C و الثايمين T كما هو موضح في الاشكال ادناه.



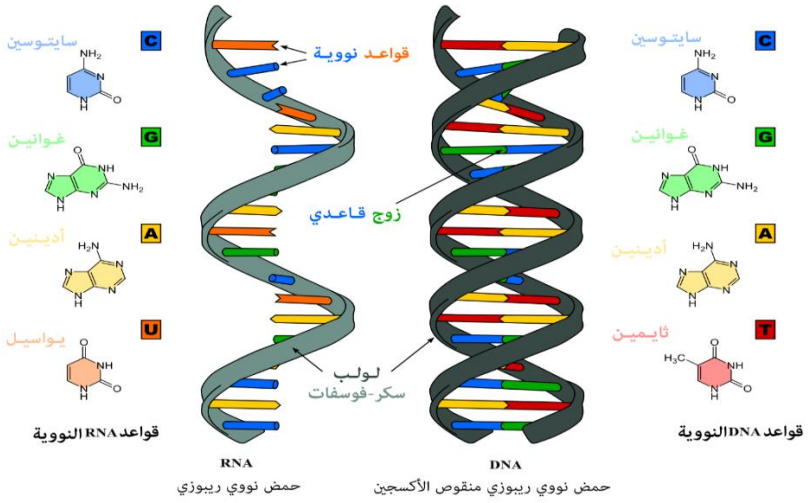
شكل (19) القواعد النتروجينية للـ DNA

ويكون الارتباط بينهما عن طريق الرابطة الهيدروجينية بالشكل التالي

رابطتان T = A :

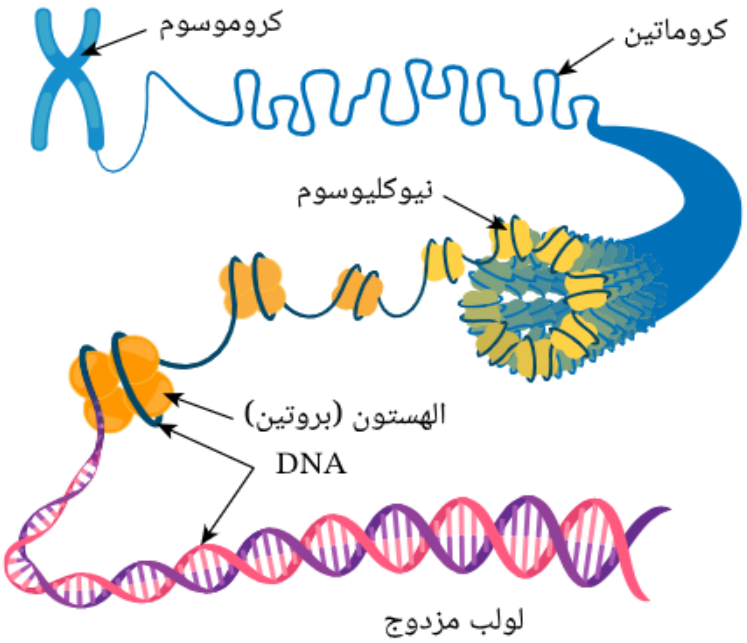
ثلاث روابط G ≡ C

والجدير بالذكر أن الروابط الهيدروجينية روابط ضعيفة. ويكونوا ما يعرف بالشكل الحلزوني المشهور للحمض النووي.



شكل (20) بنية الـRNA وDNA

حجم DNA يختلف من كائن الى اخر حيث وجد بان حجم DNA في الفيروسات التي تعتبر أصغر الكائنات الحية من حيث الحجم بان حجمه تتراوح .1000 b.p (يقاس طول RNA بعدد ما يحتوه من نيوكليوتيد (nt) أو قاعدة (b) فإن طول السلسلة المزدوج المتمثل في DNA يعين بعدد الأزواج القاعدية فيه، ويرمز لها بالرمز bpو الذي يعني وحدة زوج قاعدي) . في حين وجد حجمه في بكتريا Ecol تقريبا 4 ملايين bp بينما في الانسان 6 ملايين bp حوالي 2 متر في الطول لو تم تجميعها. ولكن يتم اعتمادها على 46 كروموسوم باستخدام بروتين الهيستون Histones لتكوننا شكل كروموسومات الـ 46 في الخلايا الجسمية. يمكن تعريف الكروموسوم بانه عبارة عن اصبعان من الكروماتيد ملتصقان عند السنترومير في الخلايا الجسمية يكون عددها 46 كروموسوم بينما في الخلايا الجنسية (الحيوانات المنوية والبويضات) يكون عددها 23 كروموسوم.

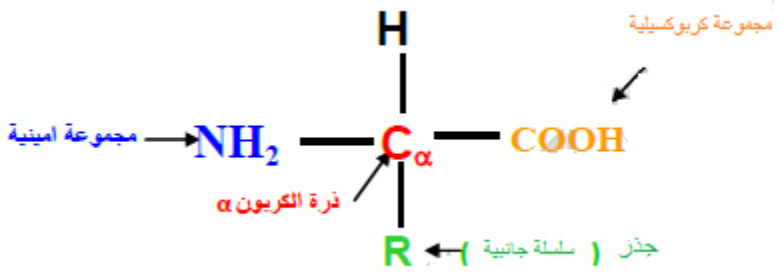


شكل (21) يوضح كيف يلتف الحمض النووي (DNA) في خلايا البشر حول البروتينات التركيبية (الهستونات) التي تتجمع في النيوكلوسومات

التأثير الإشعاعي على الجزيئات البيولوجية

البروتينات

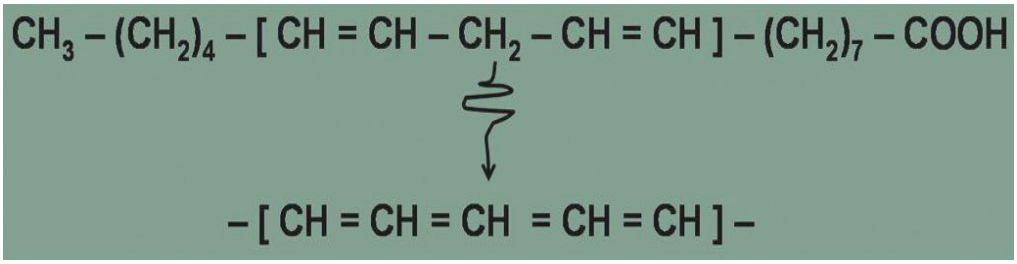
البروتينات مهمة في أغلب التفاعلات الخلوية وهي عبارة عن سلسلة من الأحماض الأمينية الجزء الأميني



NH_2 الجزء الأميني هو الحساس للأشعة المؤينة، وبما أن جميع الأنزيمات تحتوي NH_2 فإنها عرضة للتأثر بالإشعاع ودرجة التأثر تختلف من أنزيم إلى آخر.

الدهون

تتكون الدهون من الأحماض المشبعة والغير مشبعة الأكثر تأثراً هي الأحماض الغير مشبعة. مثال على ذلك تعريض حمض اللينوليك إلى الإشعاع يؤدي إلى إزالة ذرة هيدروجين من الكربون المتوسط بين الرابطتان المزدوجتان.



الكربوهيدرات

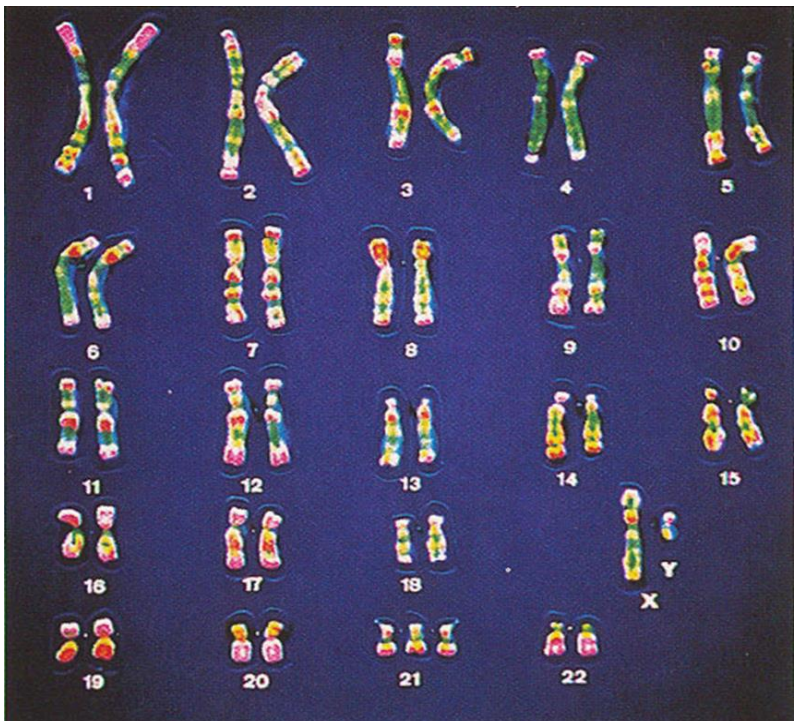
وتكون احادية Monosaccharide، أو ثنائية - Disaccha ride، أو متعددة Polysaccharide التأثير الإشعاعي على الكربوهيدرات يكون مقصوراً على كسر في سلسلة ال Poly-saccharide والتقليل من كثافتها.

DNA

وهو أهم الجزيئات تأثراً بالأشعة المؤينة، ويتضح ذلك في الخلايا سريعة الانقسام مثل (الدم الخلايا الجنسية الجهاز الهضمي التي تكون أكثر تأثراً من الخلايا بطيئة الانقسام مثل (العظام، الغضاريف العضلات، الأطراف العصبية).

تأثير الأشعة على الخلايا

تحث الأشعة على الخلايا الحية التي تشكل الأنسجة والأعضاء بالجسم، وقد تؤدي إلى موت الخلية أو تؤثر على عملية انقسام الكروموسومات، وتغير المادة الوراثية في الخلية مما يحدث طفرات وراثية قد تنتقل للأجيال اللاحقة.

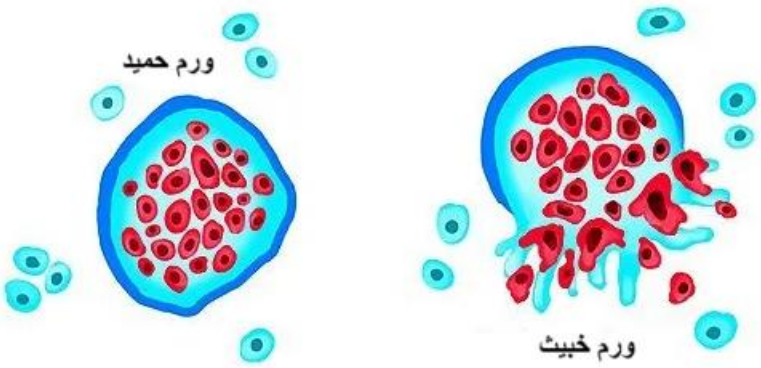


شكل (22) نمط النووي لمتلازمة داون مع كروموسوم إضافي 21

آلية الضرر الإشعاعي على الخلية Cellular Mechanism Radiation Injury

1. التأثر الحاد لإشعاع يراوح ما بين الموت الخلوي المباشر في جرعات أكبر من 10 جراي، أو موت الخلايا المنقسمة عند الجرعات بين 1-2 جراي ولا يحدث تأثر ملموس للجرعات أقل من 0.5 جراي.
2. يتأثر الـ DNA بالجرعات المتوسطة والقليلة مباشرةً، والخلايا لديها وسائل لتتأقلم وتصحح هذا النوع من الضرر.
3. ولكن إذا كان الضرر كبيراً على الـ DNA فإن الخلية تقوم بالانتحار عن طريق (آلية موت الخلية المبرمج) ويسمى بالـ apoptosis
4. بعض الخلايا المتأثرة بالجرعات الإشعاعية القليلة تظهر عليها آثار متأخرة للإشعاع مثل :الطفرات، الاختلالات الكروموسوم، عدم الاستقرار الجينات.

5. هذه الخلايا قد تصبح خبيثة malignant ومعظم السرطانات تكون نتيجة التعرض للأشعة المؤينة بجرعات أكبر من 5 جراي.



شكل (23) أنواع الأورام في الجسم

التأثير الحاد

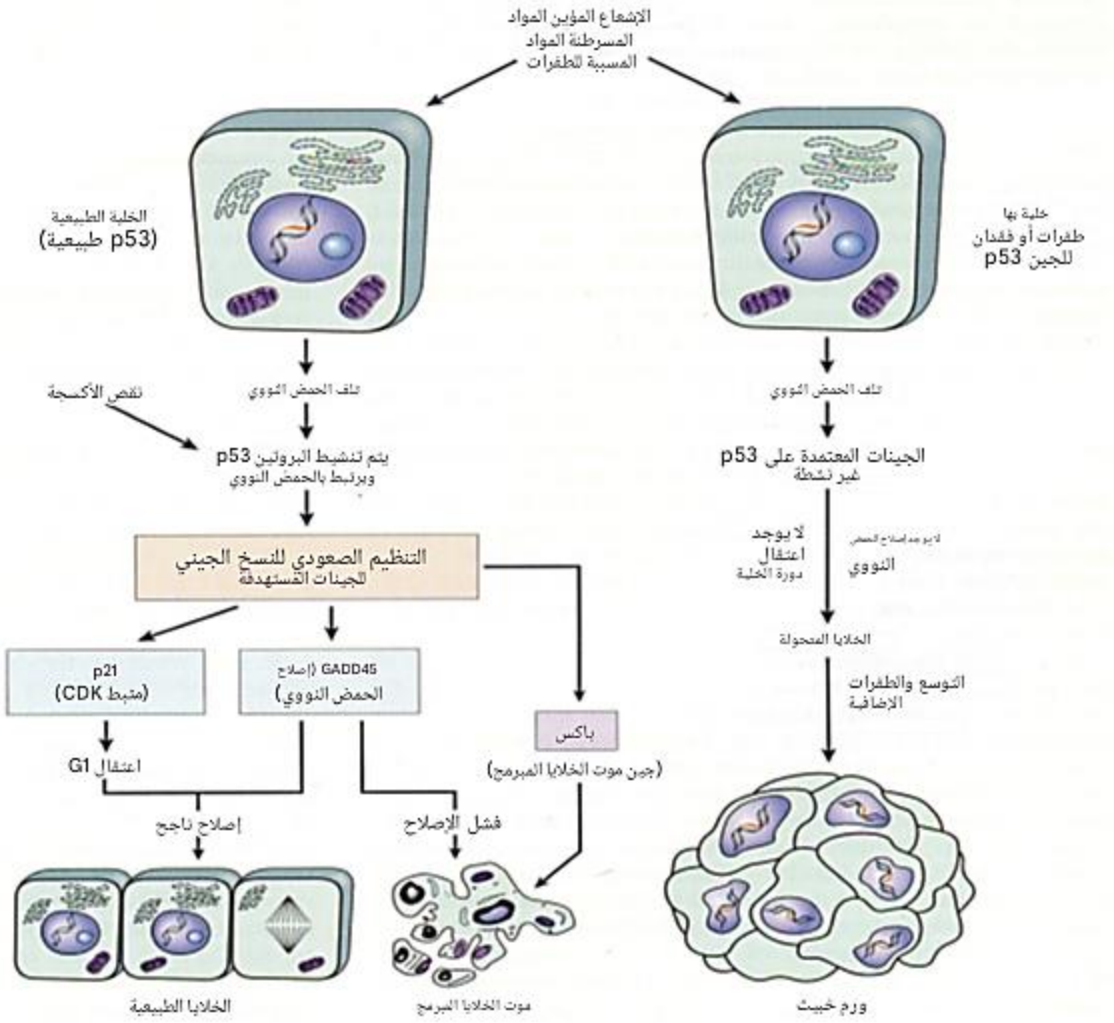
الإشعاع المؤينة قد تؤدي إلى اختلال في الـ DNA مثل:

1. ربط البروتين بالـDNA (DNA- Protein cross linking)
2. أو ربط خيوط الـ DNA مع بعضها.
3. أكسدة التفاصيل الضرورية.
4. كسر الرابطة بين السكر والفوسفات.
5. كسر في الـDNA

هذه التأثيرات الحادة قد تحدث مباشرة من $X-ray$ أو $\gamma-ray$ أو بشكل غير مباشر مع الذرات الحرة Free radical. الجرعات القليلة من الإشعاعات المؤينة تؤدي إلى تغيرات في عمليةGene expression حيث يتحول الجين(DNA) إلى بروتين.

مثل زيادة في تحويل جينات مثل c-jun, c-myc, c-fos وهذه الجينات تعتبر من مجموعة ال-Proto oncogeneحيث أن هذه الجينات مسئولة عن حدوث أنواع عديدة من السرطانات. الجرعات القليلة تؤدي إلى تقليل السيتوكينات مثل (TNF–عامل الأورام).

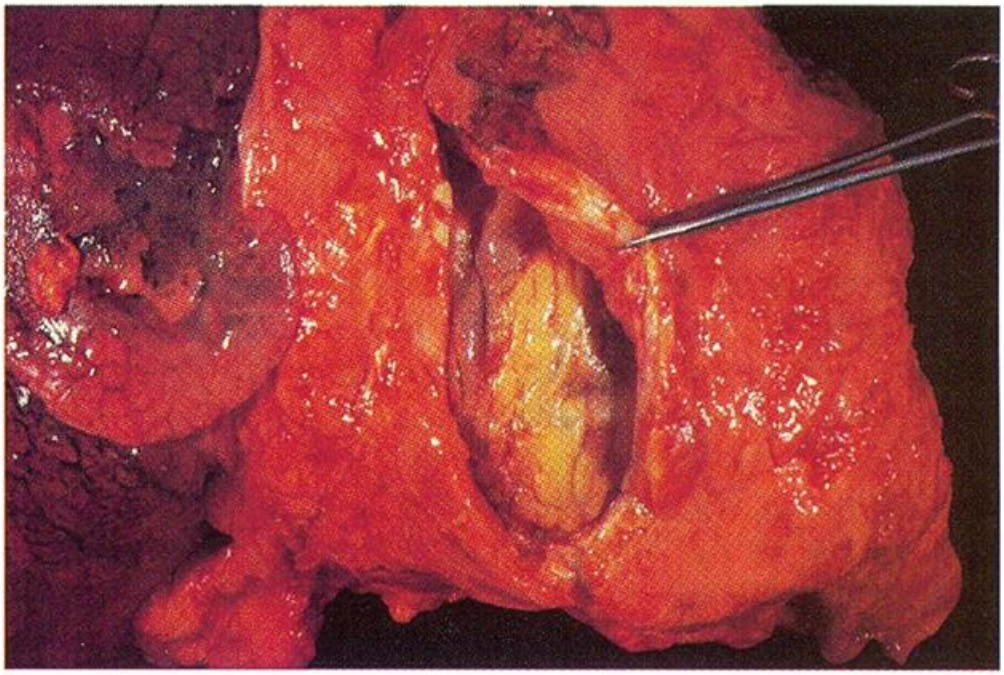
الذرات الحرة Free radical المتولدة من التأثير الإشعاعي تؤدي إلى خلل في عملية التحول الجيني. لكن للـ DNAجين يدعى ال P53 حيث يقوم بعملية تصحيح الخطأ في الـDNA فإن لم يستطع يقوم بوقف عملية الانقسام بمساعدة جينات أخرى أو بانتحار الخلية بذلك يسمى (حارس الجينيوم البشري) Guardian of the human Genome .



شكل (24) شكل التأثر الاشعاع للخلية

التليف: Fibrosis

يحصل في الغالب نتيجة الجرعات الإشعاعية العلاجية للمصابين بالسرطان، مما يؤدي إلى تغيير النسيج الطبيعي إلى نسيج متليف مشوه وبالتالي يفقد وظيفته. الأشعة وتأثيرها.

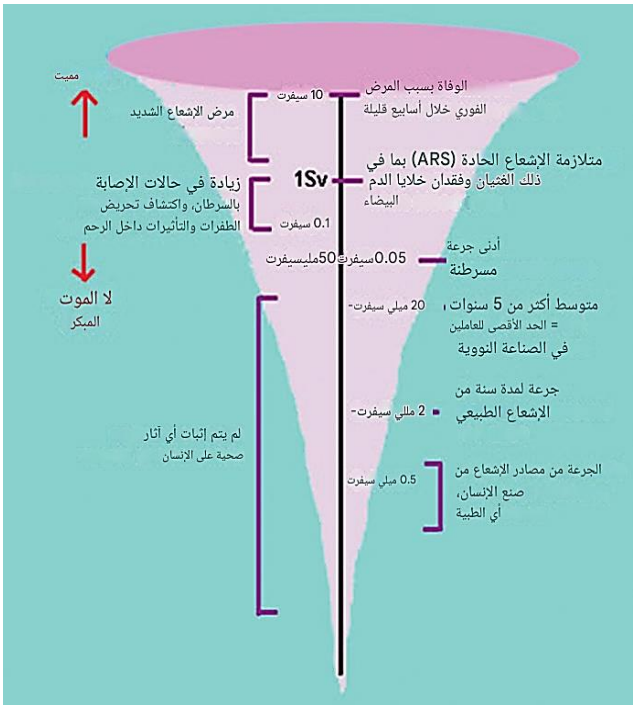


الشكل (25) ورم الظاهر في الرئة

تظهر في الشكل تليف النصفي للرئة بعد العلاج الاشعاعي. ويلاحظ سماكة الورم الظاهر في الرئة.

تأثير الأشعة على الأنسجة

تتنوع الأنسجة الموجودة داخل جسم الإنسان، بتنوع وظائفها، وتختلف حساسية هذه الأنسجة لإشعاع باختلاف معدل سرعة انقسام خلاياها، وقد ثبت أن الأنسجة المسئولة عن تصنيع الدم، والأنسجة التناسلية، والجلد والأمعاء هي الأكثر حساسية تجاه الأشعة.



الشكل (26) مستويات الجرع الاشعاعية

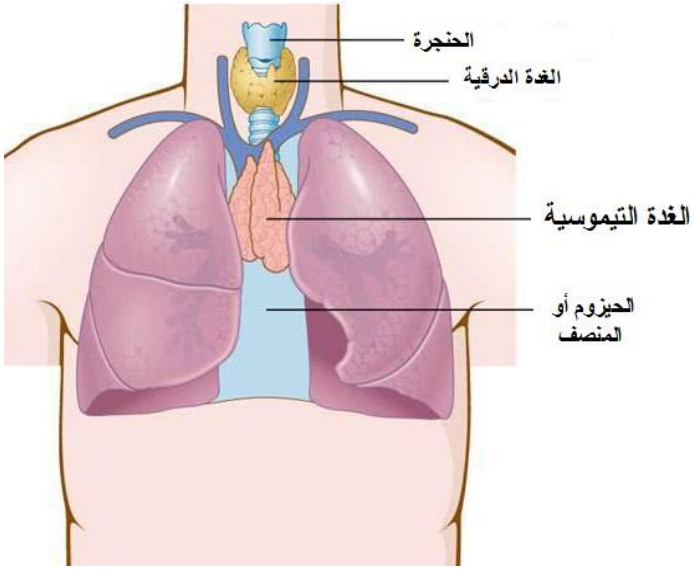
الدم والجهاز اللمفاوي

للجرعات من 500-1000 راد تؤدي إلى تناقص خلايا الدم الحمراء والبيضاء بسبب:

- التدمير المباشر لهذه الخلايا.
- فقدان الخلايا نتيجة النزف.
- توقف إنتاج الخلايا.

العقد الليمفاوية: تكون عادة مقاومة للإشعاع، لكن الخلايا المناعية Lymphocyte التي تسكن هذه العقد تتأثر بالجرعات القليلة التعرض لـ 10 راد يؤدي لتناقص الخلايا المناعية في العقد اللمفاوية، حيث تعود العقد اللمفاوية إلى طبيعتها بعد 3 أسابيع.

الغدة الدرقية Thymus تكون مقاومة للإشعاع بالنسبة لباقي الأعضاء لكن الخلايا المناعية تتأثر بالإشعاع وتعود إلى طبيعتها بعد 4 أسابيع.



شكل (27) موضع الغدة الدرقية

الطحال عند جرعات متوسطة تتناقص الخلايا المناعية في الطحال ويفقد نصف حجمه، أما عند جرعات عالية فإن الطحال ينكمش ويفقد الخلايا المناعية بشكل كبير.

نخاع العظم الخلايا المنتجة للخلايا الحمراء في النخاع هي الأكثر حساسية بالإشعاع Erythroblast

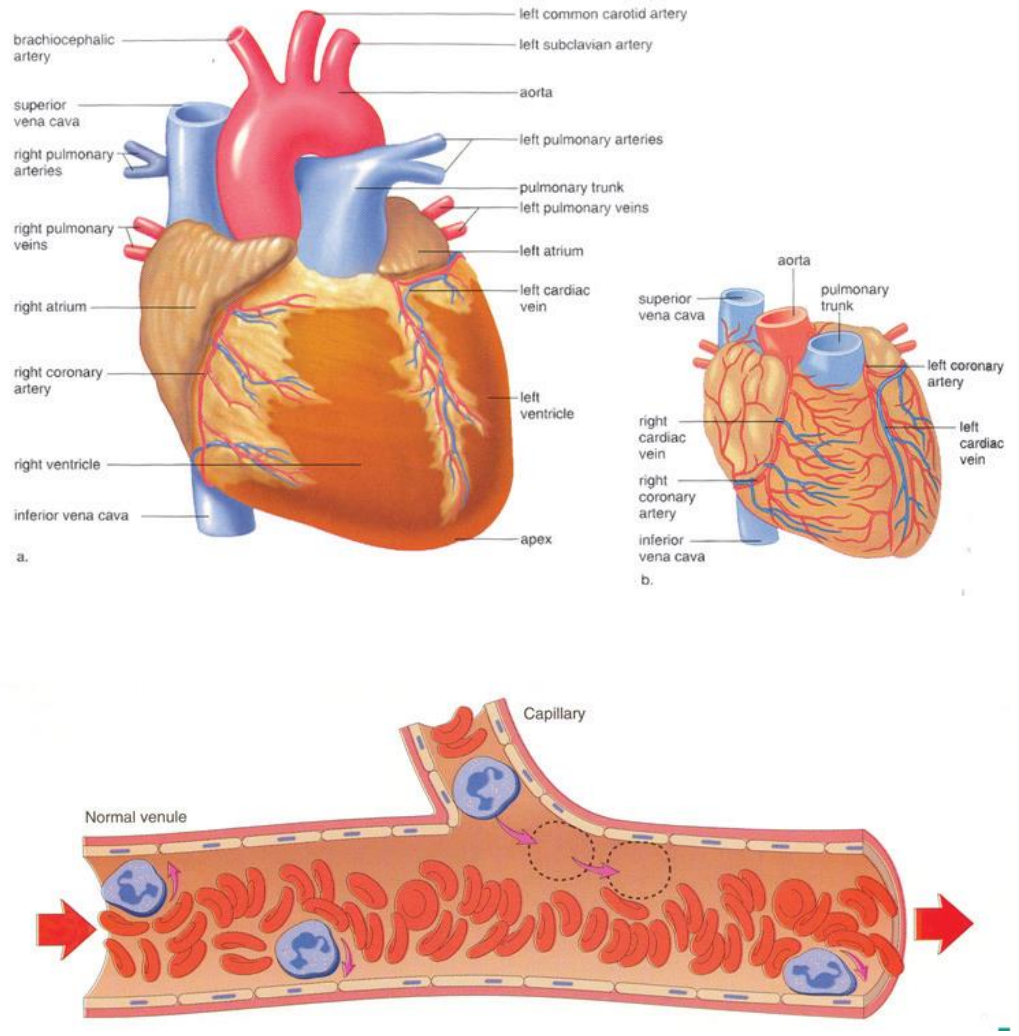
خلايا الدم عند التعرض الجرعة متوسطة لمدة 15 دقيقة يؤدي إلى تناقص في الخلايا المناعية خلال ساعات العدد يتناقص بشكل كبير.

البلازما التأثير الإشعاعي طفيف وبروتينات البلازما تقل بشكل خفيف.

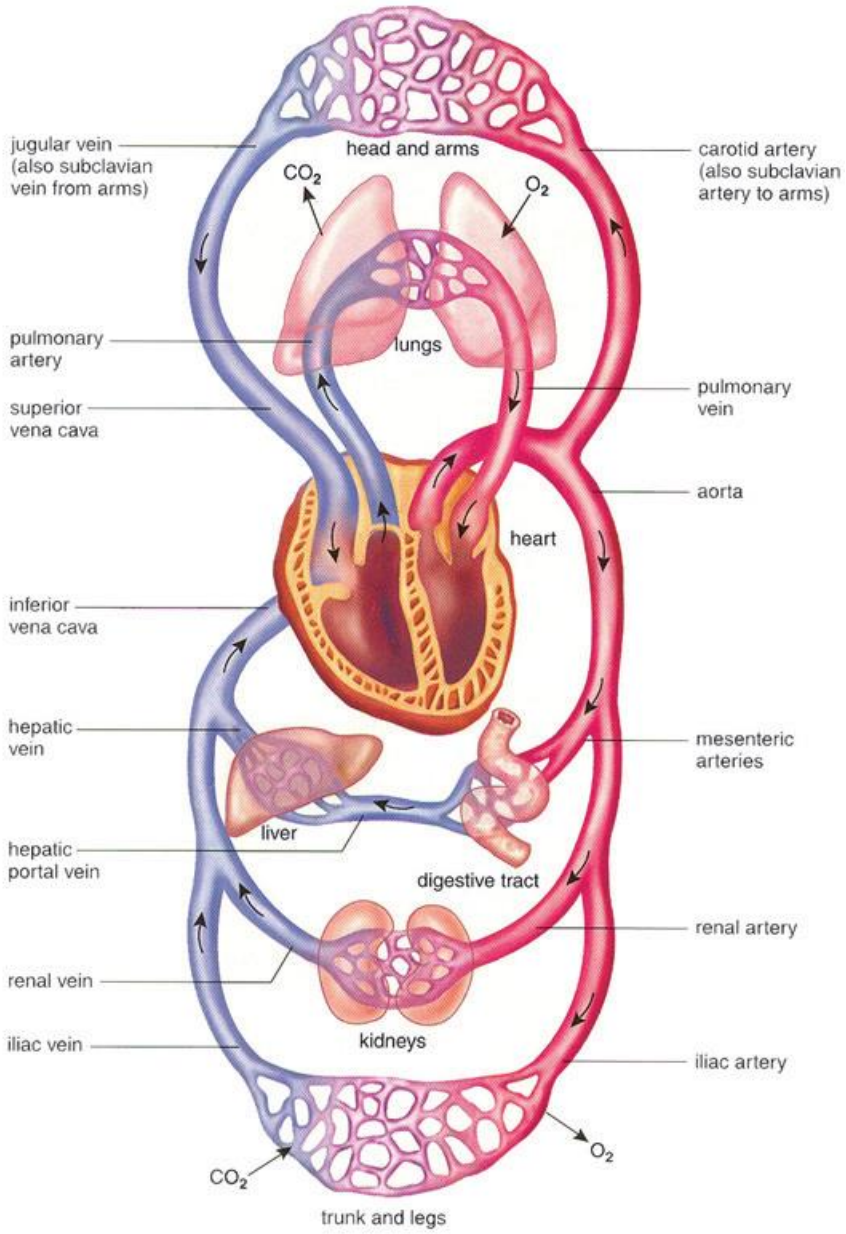
الجهاز الدوري

القلب والأوردة والشرايين تكون مقاومة للإشعاع لكن تأثر الأوردة والشرايين يأتي نتيجة حساسية النسيج الإندوثيلي Endothelium للإشعاع عن طريق آليات مختلفة :

- تورم الخلايا الإندوثيلية و إنسداد الأوعية الدموية.
- الجرعات المنخفضة تؤدي إلى موت بعض الخلايا الإندوثيلية مما يحفز تكاثر بعضها بشكل مفرط مما يؤدي لانسداد الأوعية.
- إمكانية حدوث جلطات.



شكل (28) الجهاز الدوري للإنسان



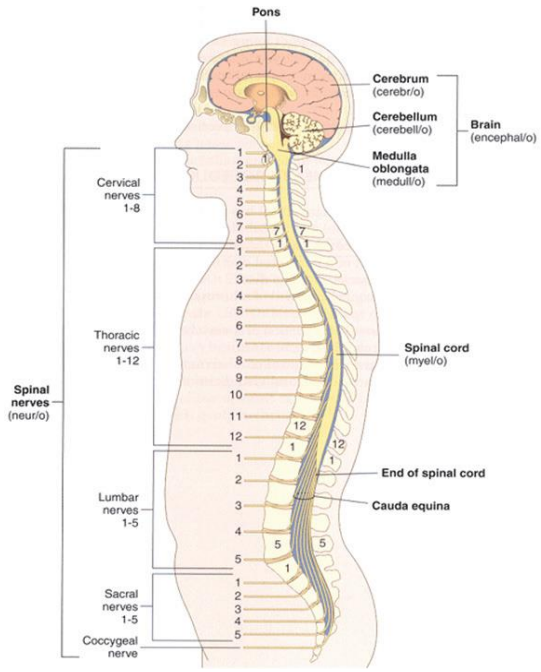
شكل (29) تشريح القلب و الاوعية الدموية و مسار الدم

الجهاز العصبي

يتكون الجهاز العصبي من:

- العصب المركزي CNS ويحتوي على الدماغ والحبل الشوكي.
- العصبي الطرفي ويحتوي على الأعصاب التي تنقل الإشارات العصبية من وإلى اجزاء الجسم.

يعتبر الجهاز العصبي جهاز مقاوم للإشعاع.

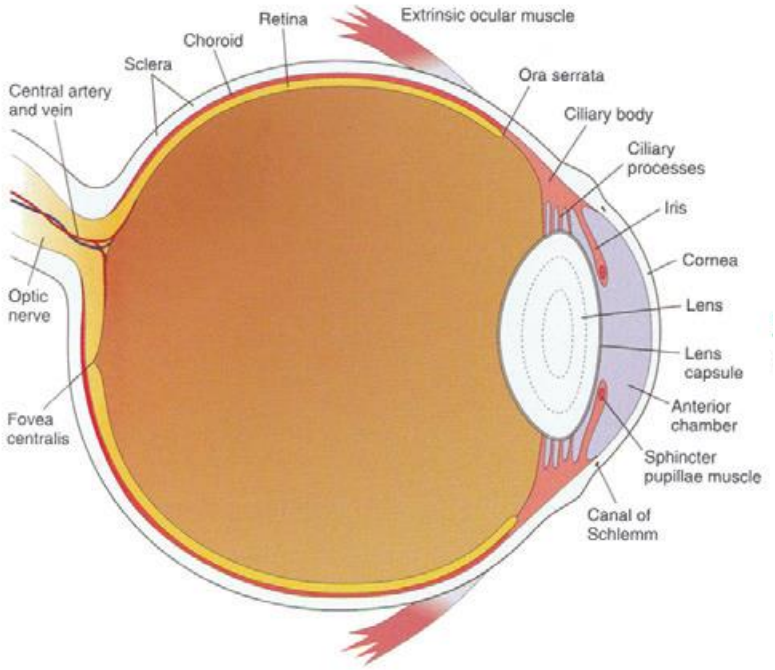


شكل (30) جهاز العصبي المركزي والطرفي

العين

من أهم التغيرات التي تطرأ على العين هو حدوث الكاتركت وهو عتامة عدسة العين.

- تعريض الرأس لجرعات قليلة من الـ X-ray يحدث تغيرات طفيفة في عدسة العين قد تظهر في مرحلة لاحقة خلال شهور أو سنوات.
- التغيرات القوية في عدسة العين تظهر نتيجة التعرض المتوسط للأشعة حيث تظهر الأعراض بعد 6 شهور.
- النيترونات تحدث الكاتراكت.
- التغير في عدسة العين يكون نتيجة توقف الانقسام الخلوي في عدسة العين.



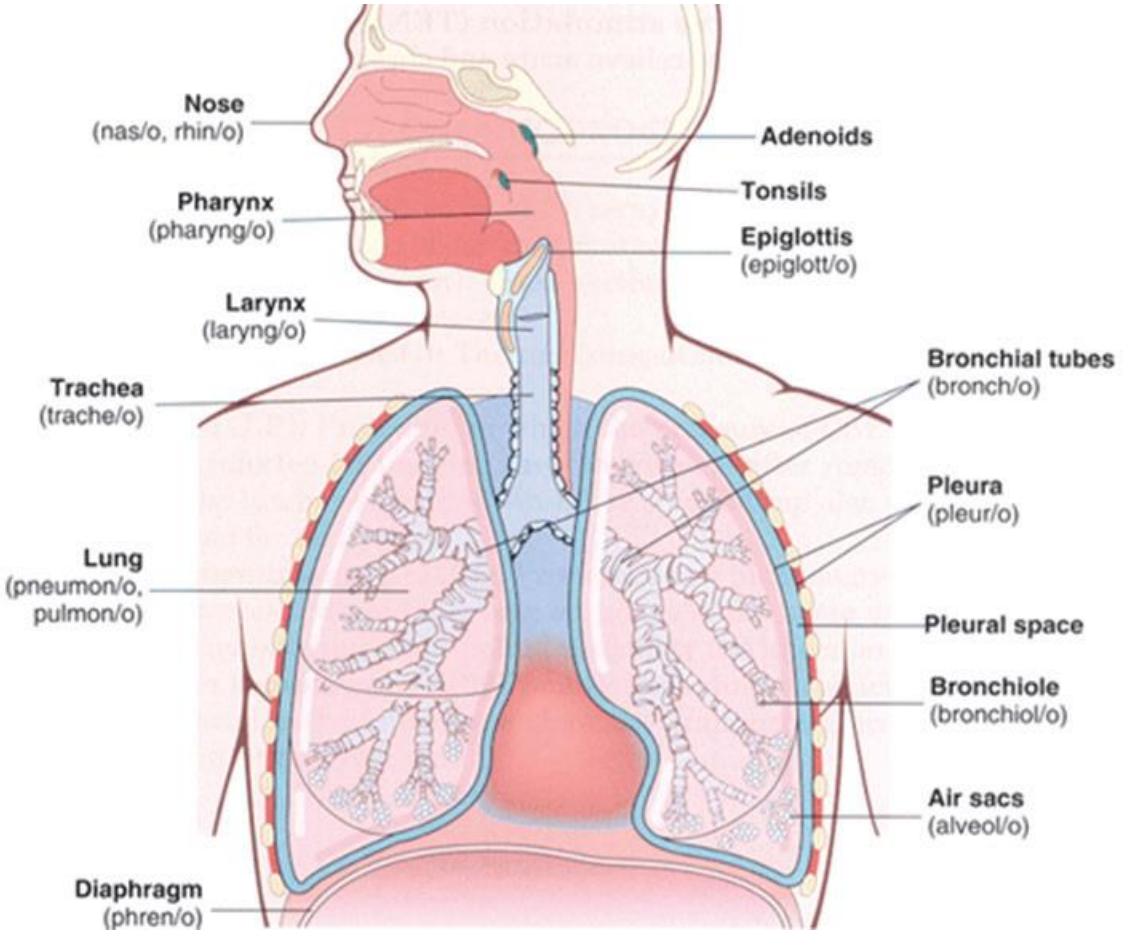
شكل (31) تركيب العين

الجهاز التنفسي

جميع أجزاء الجهاز التنفسي حساسة لإشعاع والمواد المشعة. حيث أنها قد تؤدي إلى حدوث التهابات من شأنها التأثير على عملية التبادل الغازي في الشعب الهوائية. وكذلك حدوث أنواع من سرطان الرئة مثل:

- Large cell carcinoma

- Small cell carcinoma



شكل (32) جهاز التنفسي

الجهاز الهضمي

الفم :يتورم ويتقرح بالتعرض لجرعات عالية.

المرئ :نسبياً مقاوم للإشعاع.

المعدة :بعد 30 دقيقة من التعرض لجرعة متوسطة يبدأ التأثير على الخلايا المفرزة لإنزيم الببسين(Pepsinogenes) نجد آثار للتضرر بعكس الخلايا المفرزة لحمض الهيدروكلوريك (HCl)المقاومة للإشعاع، مع إمكانية حدوث قرحة.

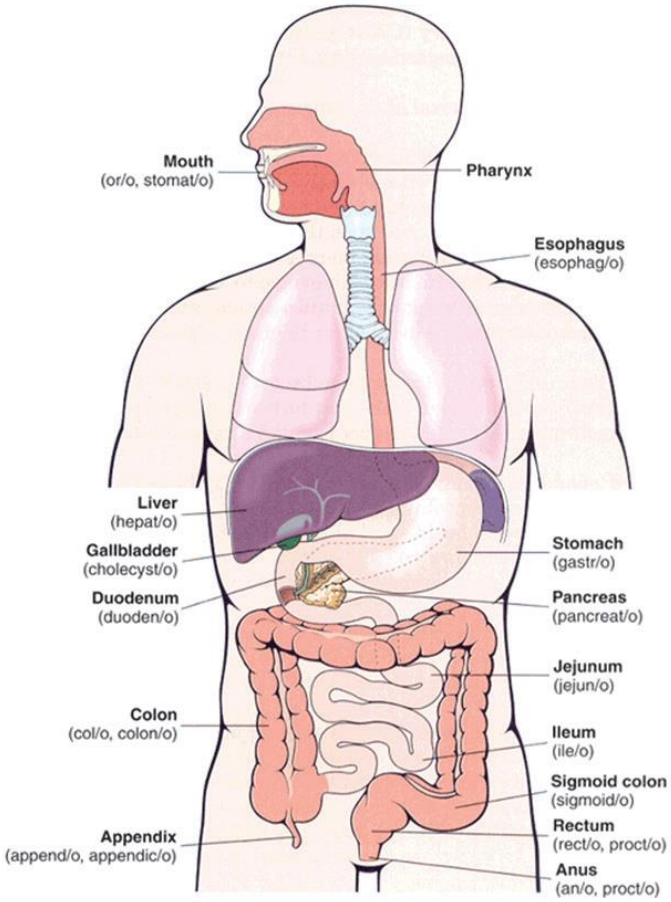
الأمعاء الدقيقة أكثر تأثراً من المعدة، فبعد 30 دقيقة من جرعة متوسطة يحدث الآتي:

- تورم وتحلل خلوي في الأمعاء.
- توقف الانقسام والتجدد الخلوي.

وتعود لحالتها الطبيعية أسرع من المعدة

الكبد مقاوم للإشعاع وذلك لخاصية التجديد.

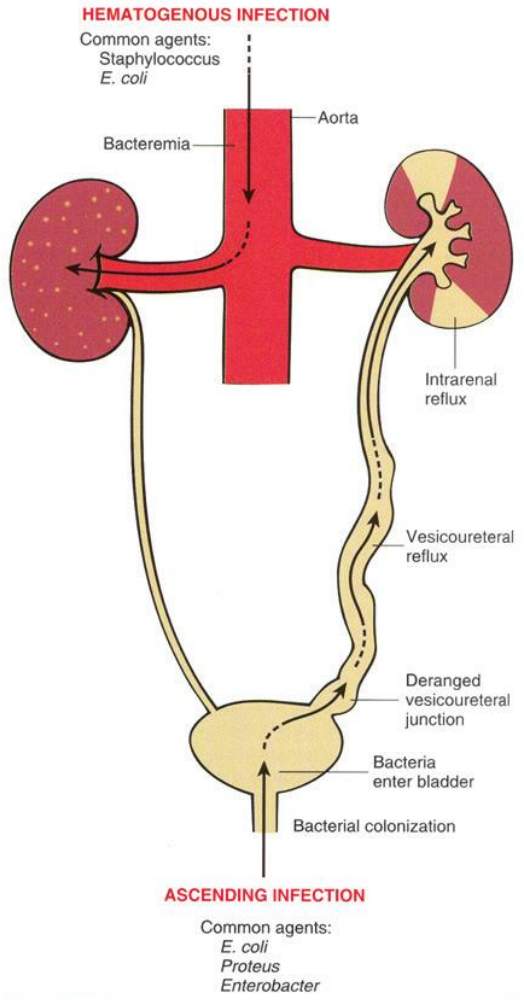
البنكرياس: كذلك مقاوم للإشعاع لكن الإفرازات البنكرياسية لمدة 1-2 يوم عند التعرض المتوسط لمدة 30 دقيقة.



شكل (33) الجهاز الهضمي

الجهاز البولي

جهاز البولي للإنسان يتكون من الكليتان الحالب والمثانة. الكلية تعتبر مقاومة ل إشعاع لكن التأثير طويل المدى من شأنه أن يؤثر على الأوعية الدموية للكلية .المثانة أكثر حساسية.



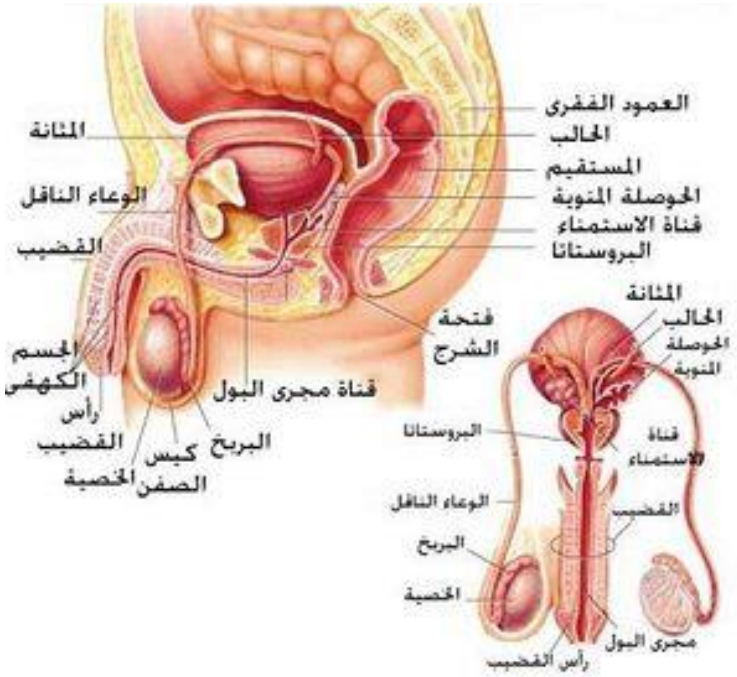
شكل (34) الجهاز البولي للانسان

الجهاز التناسلي للرجل

يتكون الجهاز التناسلي للرجل من الخصية والأنابيب المنوية والبروستاتا.

- البروستاتا والأنابيب المنوية مقاومتان للإشعاع.

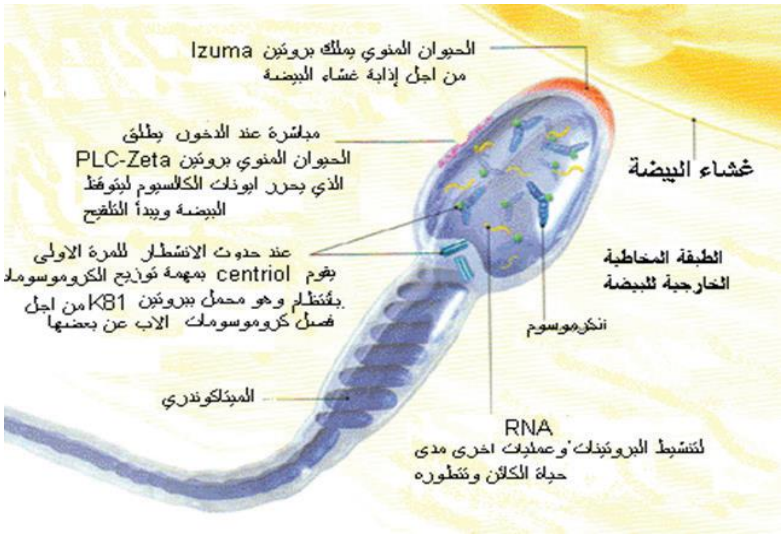
في الخصية يوجد نوعان من الخلايا Leydig Cells و Sertoli Cells عند تعرضهما للإشعاع بجرعات قليلة ومتوسطة تؤدي لتشوهات في الكروموسومات وتوقف الانقسام الخلوي. اما الخلايا spermatogonium فهي حساسة جداً تتأثر ب50 راد.



شكل (35) الجهاز التناسلي الذكري

الحيوانات المنوية

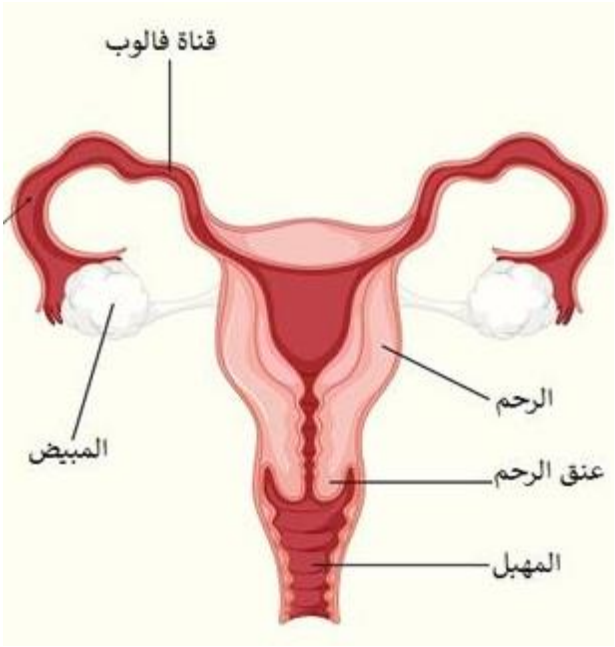
الحيوان المنوي الناضج مقاوم لإشعاع مظهرياً حتى الجرعات العالية من الإشعاع لا تؤثر على حركته. ولكنه لا يستطيع إخصاب البويضة، وذلك لحدوث تغيرات جينية في الحمض النووي.



شكل (36) شكل الحيوان المنوي

الجهاز التناسلي للمرأة

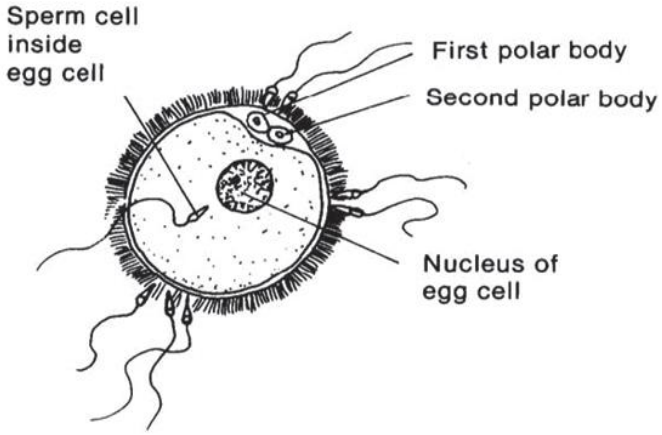
يتكون الجهاز التناسلي للمرأة من المبايض وقناة فالوب والرحم والمهبل. الأكثر تأثراً هو المبيض حيث تتأثر البويضات بجرعات ما بين المتوسطة والمنخفضة حيث يظهر على المبيض بعض التغيرات المرضية.



شكل (37) الجهاز التناسلي للمرأة

البويضة

حساسة إشعاعياً حيث تكون البويضات الناضجة أكثر مقاومة للإشعاع من البويضات أولية التكوين. الجرعات العالية جداً من الإشعاع تسبب عقم دائم، وتقدم في سن اليأس.

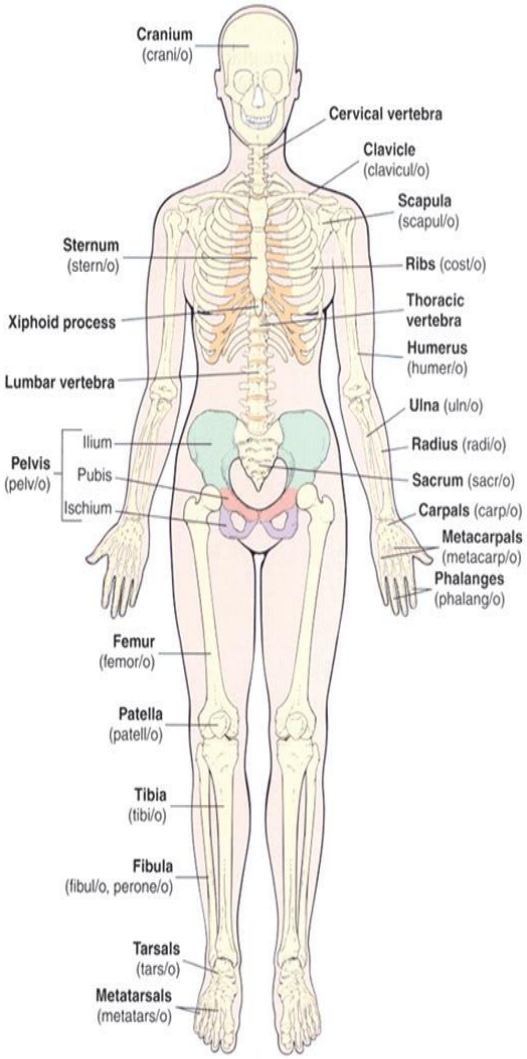


شكل (38) شكل بويضة

العظام

- العظام النامية أكثر عرضة من العظام متوقفة النمو.
- التأثيرات تتضمن تدمير وتآكل الخلايا العظمية والغضروفية، وتوقف الانقسامات لهذه الخلايا.

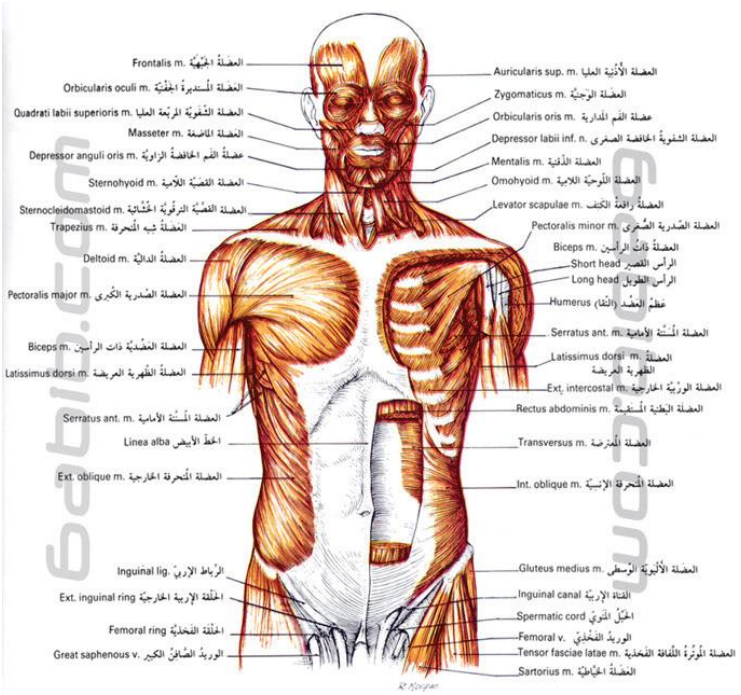
حدوث بعض أنواع سرطان العظام عند الجرعات العالية مثل Osteosarcoma



شكل (40) الهيكل العظمي

العضلات

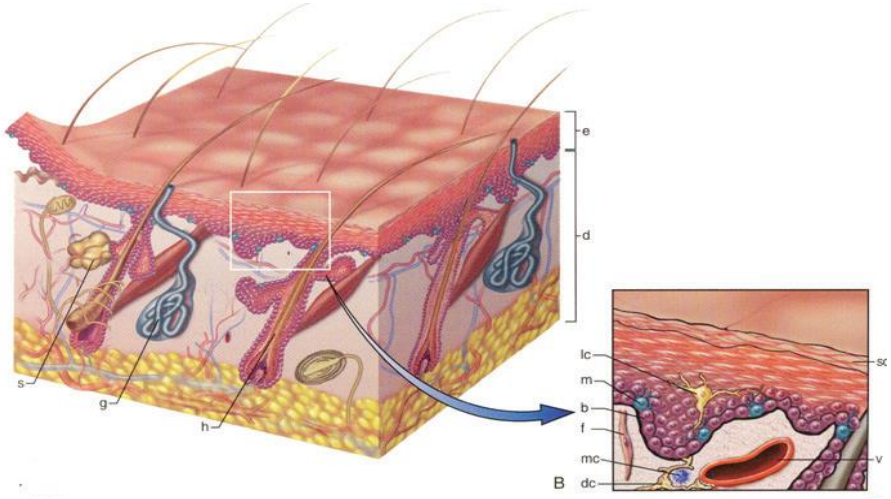
تعتبر من الأجزاء المقاومة للإشعاع لكن أكثر من50 ألف راد يؤدي إلى ضعف في العضلات وصعوبة في حركة الألياف العضلية.



شكل (41) العضلات الجسم

الجلد

- الطبقة الخارجية للجلد Epidermis هي الأكثر تأثراً بالإشعاع.
- 35 راد تؤثر على سرعة الانقسام الخلوي.
- جرعات أكثر تؤدي إلى موت الخلايا.
- الجرعات المتوسطة على فترات متفاوتة تؤثر على الطبقة الداخلية للجلد Dermis.



شكل (42) طبقات جلد الانسان