الفصل الثاني

التأثيرات البيولوجية للإشعاع

Biological Effects of Radiation

obeikandl.com

2 – ١ المقدمة :

اكتشفت الأضرار الناتجة عن الإشعاعات المؤينة بعد عدة سنوات من اكتشاف الإشعاع المؤين نتيجة لتعرض الباحثين في الإشعاع والأطباء المستخدمين للأشعة السينية في التشخيص إلى بعض الحروق أو الأمراض. وبعد ١٠٠ سنة من اكتشاف الإشعاع فإن بحوثا كثيرة في مجال التأثيرات البايولوجية للإشعاع والتأثيرات الناتجة عن التعرض إلى جرع عالية معروفة جيداً وموثقة في الوقت الحالي.اما ثأثيرات الجرع الواطئة من الإشعاع فإنها غير معروفة بشكل جيد . بالرغم من أن معلومات البحوث المتوفرة عن الجرع العالية واستقراء تاثيرات الجرع الواطئة مكنت العلماء من تقدير تأثيرات الجرع الواطئة. ففي السنوات الأخيرة جرت بحوث مكثفة في عدة بلدان حول العالم مكنتنا من معرفة التفاصيل لتقدير التأثيرات الناتجة عن الجرع الواطئة.

٢ -٢ الخلية الحية :

تتكون جميع أعضاء الكائنات الحية الحيوانية والنباتية وا نسجتها الحية من وحدات دقيقة وصغيرة تعرف بالخلايا. وأهم مكونات الخلية:

١ – الغشاء الخلوي:

يكوّن الغشاء الخلوي(جدار الخلية) من غشاء رقيق الجدران يحيط بالخلية من الخارج ويحمي مكوناتها ويقوم بتنظيم مرور المواد المختلفة بين الخلية والوسط المحيط بها فيسمح بمرور بعض المواد ويمنع الاخرى من الدخول حسب الخاصية الازموزية.يتكون الغشاء من مركبات تسمى اللبيدات (Lipeds)

٢ – السايتوبلازم:

مادة جلاتينية تحيط بالنواة ويقوم بجميع الافعال الحيوية عدا التكاثر ويحتوي على عضيات حية واخرى غير حية مثل الحبيبات الافرازية والصبغية ويحتوي السايتوبلازم على الشبكة الاندوبلازمية والرايبوسومات وجهاز كولجي والجسم المركزي (السنترومير) وجزيئات اخرى. (الشكل٢ – ١). ، فالسايتوبلازم يقوم بتحويل الغذاء الذي يصله إلى طاقة تمكن السايتوبلازم من القيام بافعالة الحيوية وإنتاج وجزيئات صغيرة. وتتحول هذه الجزيئات الصغيرة فيما بعد إلى جزيئات أكثر تعقيدا وهي التي تحتاجها الخلية لعمليات التجديد والانقسام.

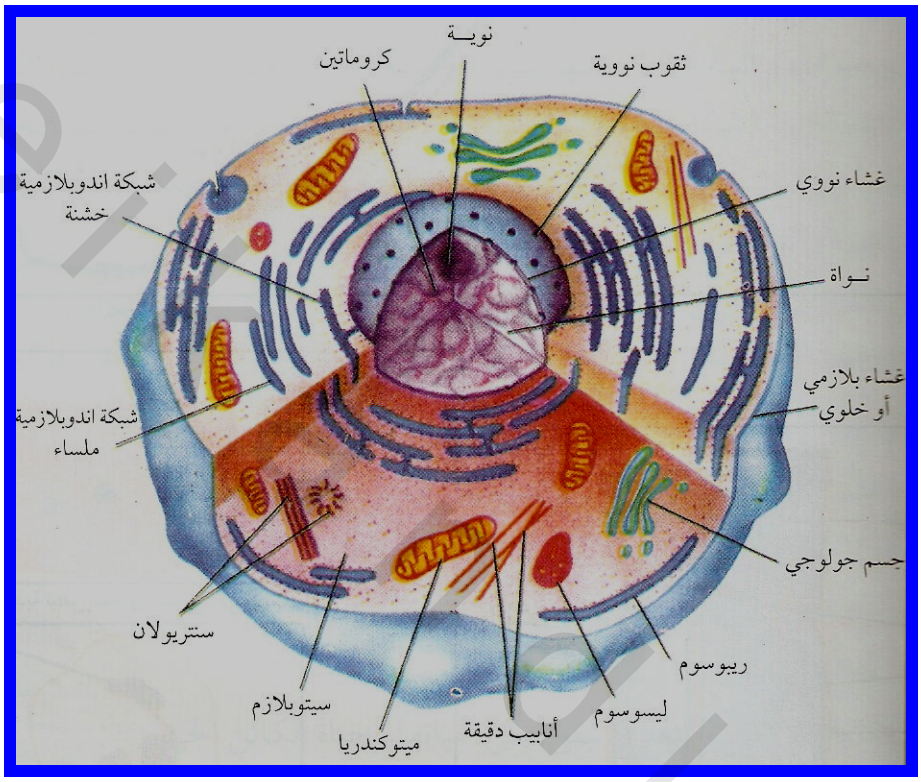
٣– النواة:

تتكون النواة من غشاء مزدوج يحتوي عدد من الثقوب يؤمن مرور المواد عبرة يسمى الغشاء النووي. تحتوي النواة على الكروموسومات والتي هي عبارة عن تراكيب خيطية صغيرة مكونة من الجينات والتي تحتوي على المعلومات الوراثية التي تحتاجها الخلية للقيام بنشاطاتها وتكاثرها.وعدد

obeikandl.com

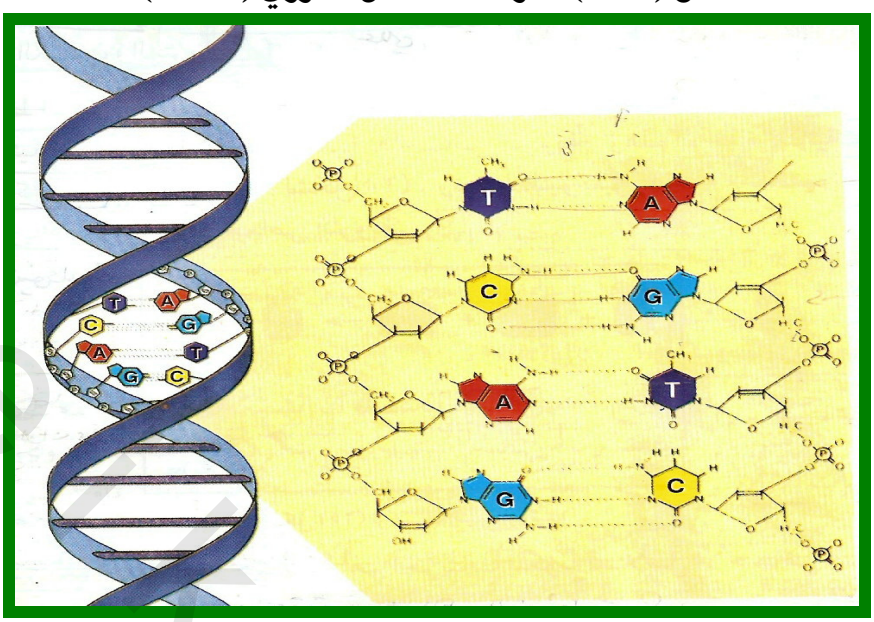
الكروموسومات ثابت في النوع الواحد من الكائنات الحية فتحتوي خلايا الانسان الجسدية على ٤٦ كروموسوم في حين تحتوي خلايا الارنب الجسدية على ٤٤ كروموسوم (النصف من الام والنصف الاخر من الاب).

شكل (٢ - ١) الخلية ومكوناتها



تتكون الكروموسومات من الحامض النووي الرايبــوزي منقــوص الاوكســجين (Deoxyribo nucleic acid) (DNA) والتي هي عبارة عن تراكيب خيطية صغيرة مكونة مــن الجينــات(Genes) ومن جزيئات بروتينية. وتقوم الجينات بحمل المعلومات التي تحدد صفات الخلية الوليدة، يتكون الحامض النووي (DNA) من زوج من الضفائرتتكون كل ظفيرة من تعاقب مركبات السكر الخماسي الرايبوزي منقوص الاوكسجين والفوسفات بينما يتصل الجانبان من الــداخل بالقواعــد النايوتروجينية الاربعة وهي تحتوي على مجموعتين من القواعد احدهما من الثايمين– ادنين (T-A والأخرى الكوانين – سايتوزين (G-C).وترتبط القواعد مع بعضــها بواســطة اواصــر هيدروجينية .كما في الشكل (٢–٢)

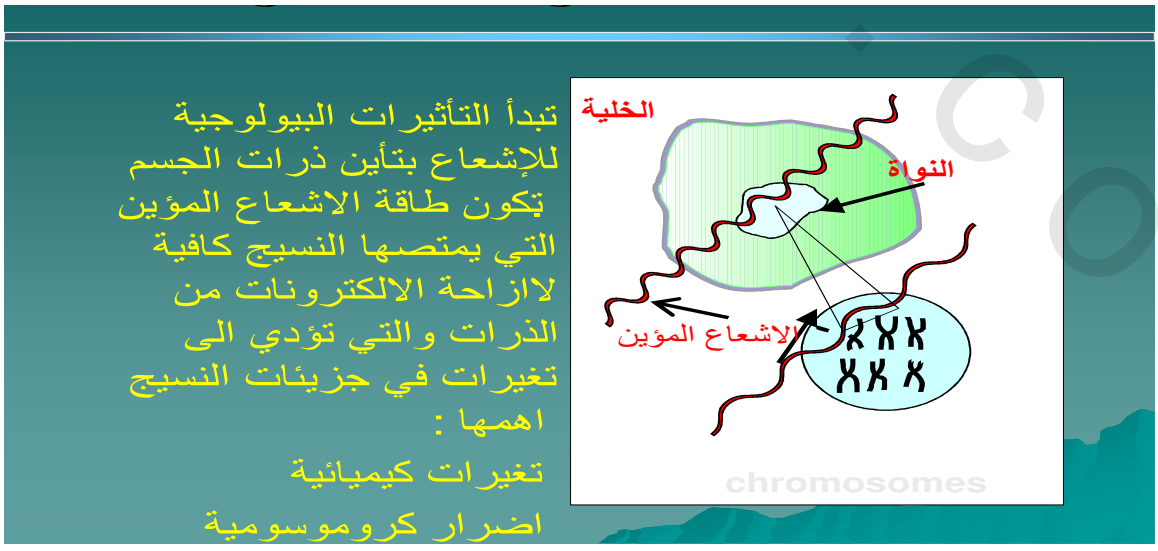
شكل (٢ - ٢) مكونات الحامض النووي (DNA)



يطرا احيانا تغير في جين او اكثر من جينات الفرد فتظهر صفات جديدة ،يسمى هذا التغير بالطفرة ،والطفرات على نوعين الاولى تلقائية تحصل بفعل المؤثرات البيئية المختلفة والطفرات المستحدثة (الصناعية) التي تحدث بفعل الاشعاع المؤين او المواد الكيميائية.

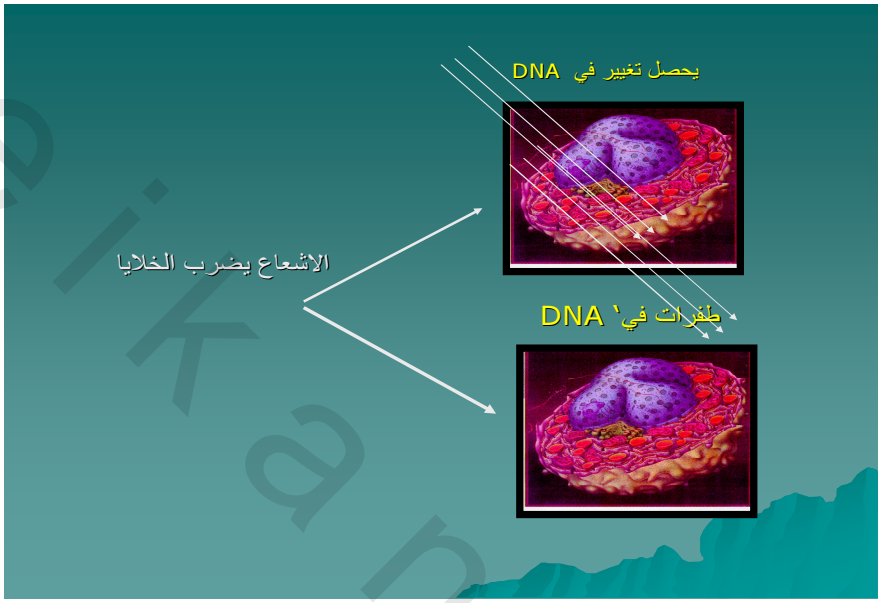
تحتوي المعلومات الوراثية شفرات عن سلوك وتجديد الخلية. عندما يمر الإشعاع خلال الأنسجة الحية فإن الطاقة سوف تترسب وتؤدي إلى تأين الذرات. وهذا التأين هو المسوؤل عن الأضرار الإشعاعية. فهي تؤدي إلى كسر ضفائر DNA وتولد مواد كيميائية سامة في الخلية. (شكل٢ –٣ و٢ – ٤).

شكل ٢ - ٣ تأثير الاشعاع على الخلية

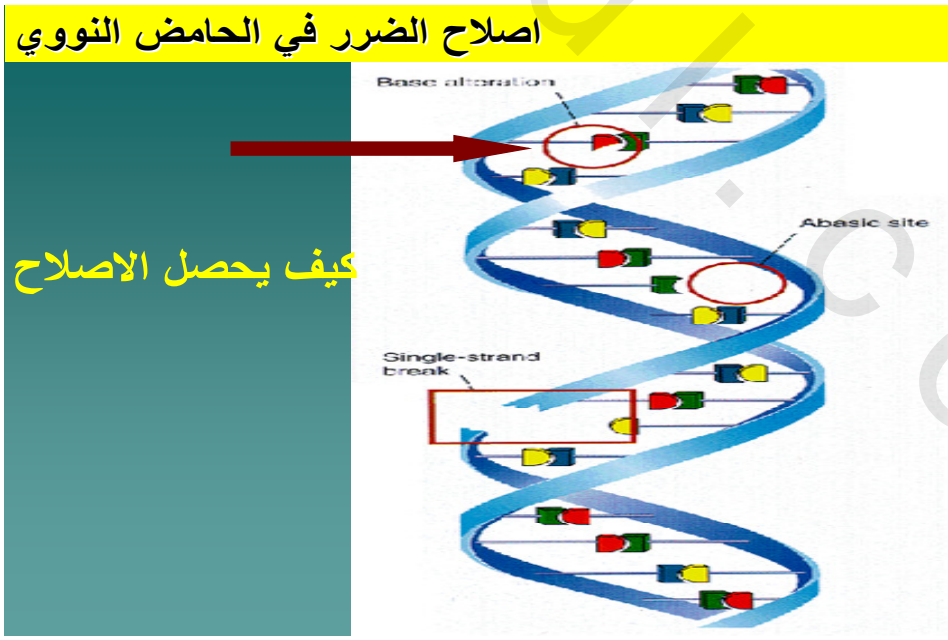


سقوط الاشعاع على الخلايا الحية يؤدي الى كسر الاواصرالهيدروجينية وضرر قواعد الحامض النووي لكن هذه الخلايا لها القدرة على اصلاح الضرر والتحام الاواصر الهيدروجينية اذا كان التاثير قليلا. شكل (٢ – ٥أ).

شكل(٢ – ٤) تأثير الإشعاع على كروموسومات الخلية

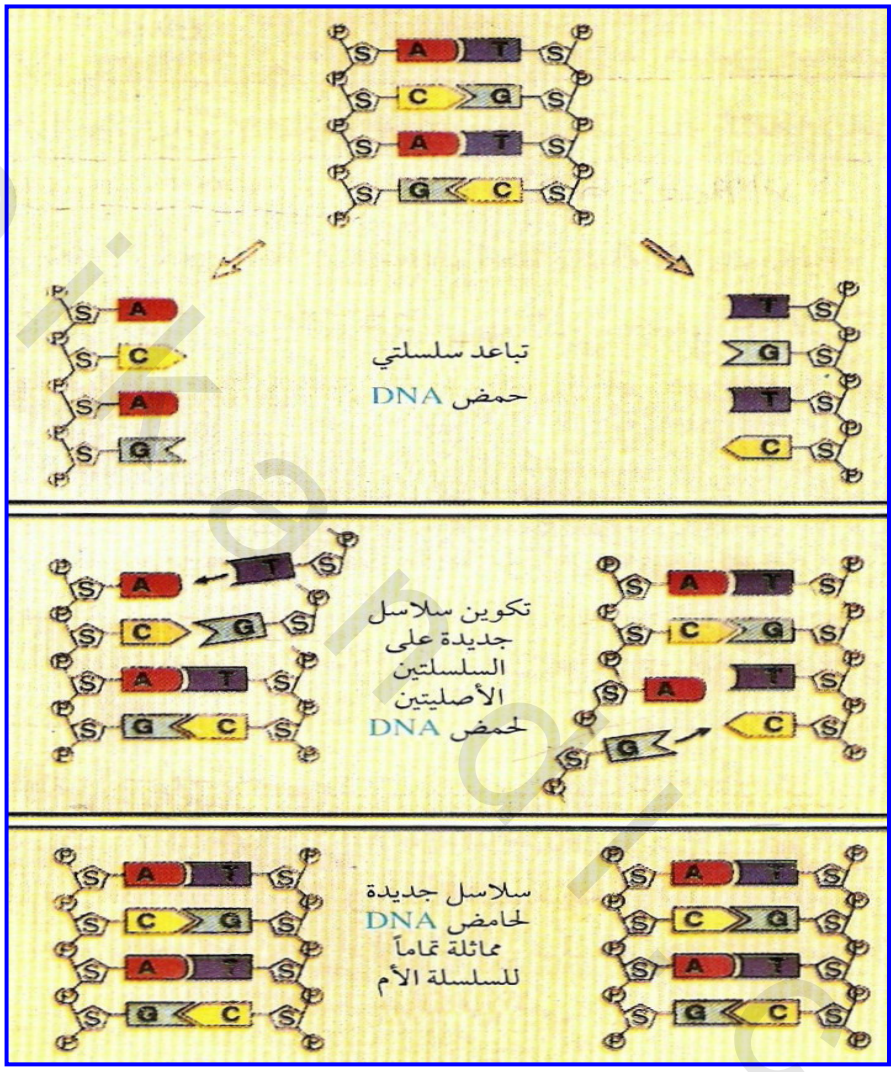


شكل (٢ – ٥ أ) إصلاح الخلايا المتضررة نتيجة الاشعاع



ومع ذلك فإن فعالية هذا الإصلاح يعتمد على درجة الضرر وقد يحدث إصلاح غير صحيح يؤدي إلى تكون معلومات غير صحيحة في سلوك الخلية الذي قد يؤدي إلى انقسام الخلية انقسامات غير مسيطر عليها وتتولد نتيجة لذلك أنسجة سرطانية.

شكل (٢ – ٥ ب) النسخ الذاتي للحامض النووي(DNA)

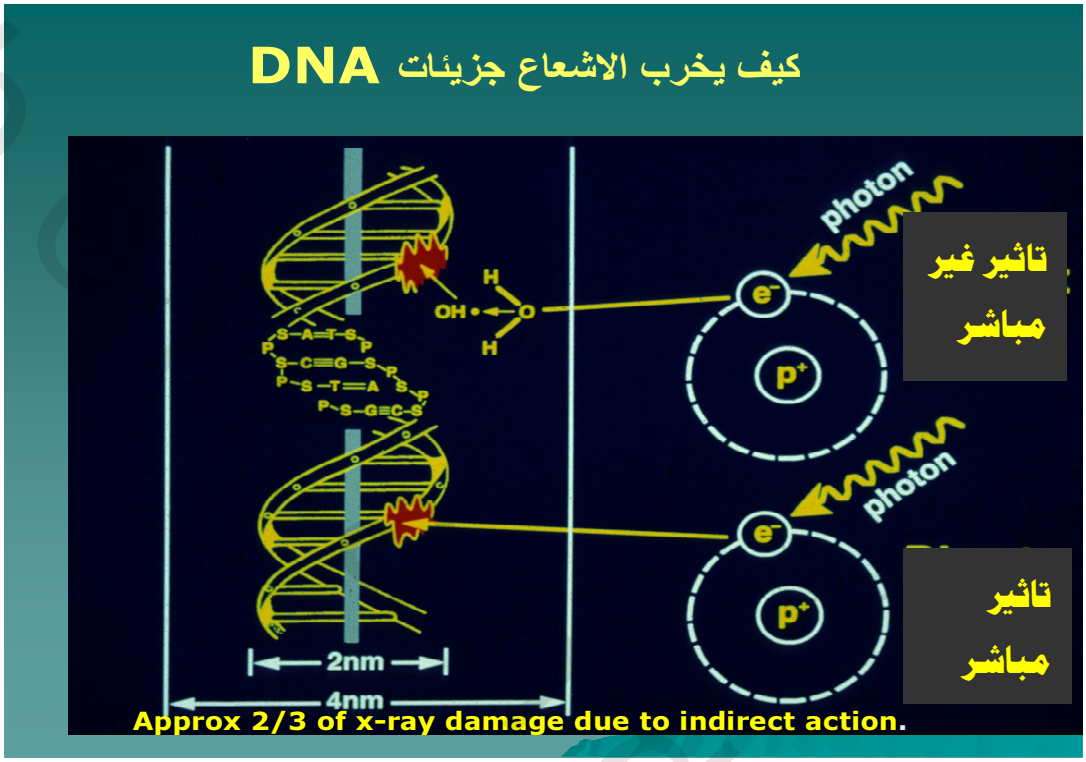


لان الحامض النووي (DNA) لة القدرة على المضاعفة والتي تسمى النسخ الذاتي(Replication) حيث ينشطر الحامض النووي طوليا عبر الاواصر الهيدروجينية الضعيفة ثم تبدا قواعد كل سسلة بالارتباط بنيوكليونات جديدة حرة في النواة لتقوم كل سلسلة بعمل سلسلة مكملة لها تتكون من جزيئان متماثلان ولايختلف عن الجزيئة الام شكل (٢ – ٥ب)

فالجسيمات المشحونة الثقيلة والإلكترونات تقوم بتأيين المادة بشكل مباشرة(Direct action)عند المرور فيها (اشعاع مؤين بشكل مباشر). اما بالنسبة لإشعاعات جاما والأشعة السينية فهي تؤين المادة بصورة غير مباشرة (Indirect action) شكل (٢ – ٦) . و تنتقل طاقتها إلى إلكترونات

المادة عن طريق العمليات الثلاثة المعروفة لتفاعل الاشعاع مع المادة (الظاهرة الكهروضـــوئية ، ظاهرة استطارة كومبتون ،و ظاهرة إنتاج الأزواج) ثم تقوم الإلكترونات الثانوية بالتأين.

شكل (٢ - ٦) التأثيرات المباشرة وغير المباشرة للإشعاع



أما بالنسبة للنيترونات فتنتقل طاقتها إلى المادة إما عن طريق الاستطارة المرنة والاستطارة اللامرنة أو عن طريق امتصاص النيترونات. سواء كانت الإشعاعات المؤينة صادرة عن مصدر خارجي أو عن تلوث الجسم داخلياً بالمواد المشعة فإنها تؤدي إلى آثار بيولوجية في جسم الكائن الحي. يمكن أن تظهر فيما بعد على شكل أعراض مرضية وتعتمد خطورة هذه الأعـــراض والفتـــرة الزمنيـــة لظهورها على كمية الإشعاع الممتص وعلى معدل الامتصاص. فالجرعة الإشعاعية العالية (أكبر من ١٠ سيفرت) تؤدي إلى قتل الخلية وموتها بعد فبرة قصيرة من التعرض. أما الجرع الوسطية (٠.٥ – ١٠ سيفرت) فإنها لا تقتل الخلايا ولكنها تمنع الخلايا من التكاثر، اما الجرعة الواطئة من الإشعاع (أقل من ٠.٥ سيفرت) لا تؤدي إلى قتل الخلايا ولكنهـــا تـــؤدي إلـــى تغييـــر تركيبـــة الكروموسومات بطريقة لا يمكن الكشف عنها بسهولة. تعتمد مدى الأضرار التي تصيب الخلية على معدل التعرض الذي تستلمة الخلية.وبسبب ميكانيكية اصلاح الخلايا فان الجرع العالية المستلمة في وقت قصير والتي تسمى بالجرع الحادة (acute dose) تسبب ضررا اكبر مما لوتعرضت الخلايا الى نفس الجرع ولكن بزمن طويل.

وتنقسم الآثار البيولوجية للإشعاعات في الكائنات الحية إلى نوعين :

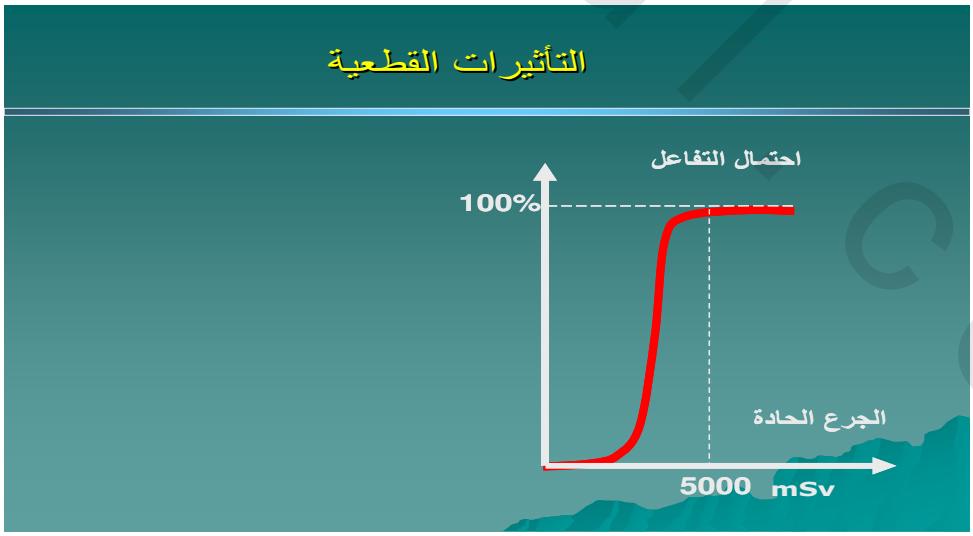
٢ - ٣ :التأثيرات القطعية (deterministic effect)

تؤدي الجرع الحادة للأنسجة الحية الى التأثيرات الضارة للإشعاع والتي تسمى بالتأثيرات القطعية. هذه التأثيرات تحصل عند أو فوق جرعة معينة تسمى جرعة العتبة وتؤدي إلى ضرر عالي لعدد كبيرمن الخلايا وتزداد حدة التأثيرات البايولوجية بزيادة الجرعة شكل (٢ – ٧).

وتعتمد حدة التأثير مباشرة على مقدار الجرعة المستلمة والجزء المعرض من الجسم. وهذه التأثيرات تظهر بعد عدة أيام من التعرض وتحصل بصورة حتمية بسبب عمليات مختلفة أهمها موت الخلايا وتأخر انقسامها نتيجة تعرضها الى مستويات عالية من الإشعاع.إذا كان الإشعاع مركزا بقدر كاف فقد يضعف وظيفة النسيج المتعرض.وتزداد شدة الأثر المؤكد لدى الفرد المعرض كلما تجاوزت الجرعة مستوى العتبة لحدوث هذا الاثر. هذه التأثيرات هي تأثيرات مبكرة للإشعاع (Early effects) وهي اثأر تظهر من الناحية السريرية لدى الأشخاص المعرضين للإشعاعات المؤينة بعد وقت قصير من التعرض. ويعاني المتعرضين للاشعاع الى ما يسمى بأمراض الإشعاع (Radiation sickness) والأمراض الإشعاعية مصطلح يعبر عن الإضرار المعقدة الناتجة للخلايا عند تعرضها للإشعاع.

ويمكن لهذه الأمراض أن تحصل بجرعة تصل إلى 1Sv وتتضمن ثلاث مراحل. الأولى تحصل بعد التعرض مباشرة للإشعاع حيث يشعر الإنسان بالمرض والتقيئ وسبب ذلك يعود إلى ازدياد التوكسينات (المواد السامة toxins) نتيجة للتعرض.

شكل (٢ - ٧) التاثيرات القطعية للإشعاع واعتمادها على جرعة العتبة

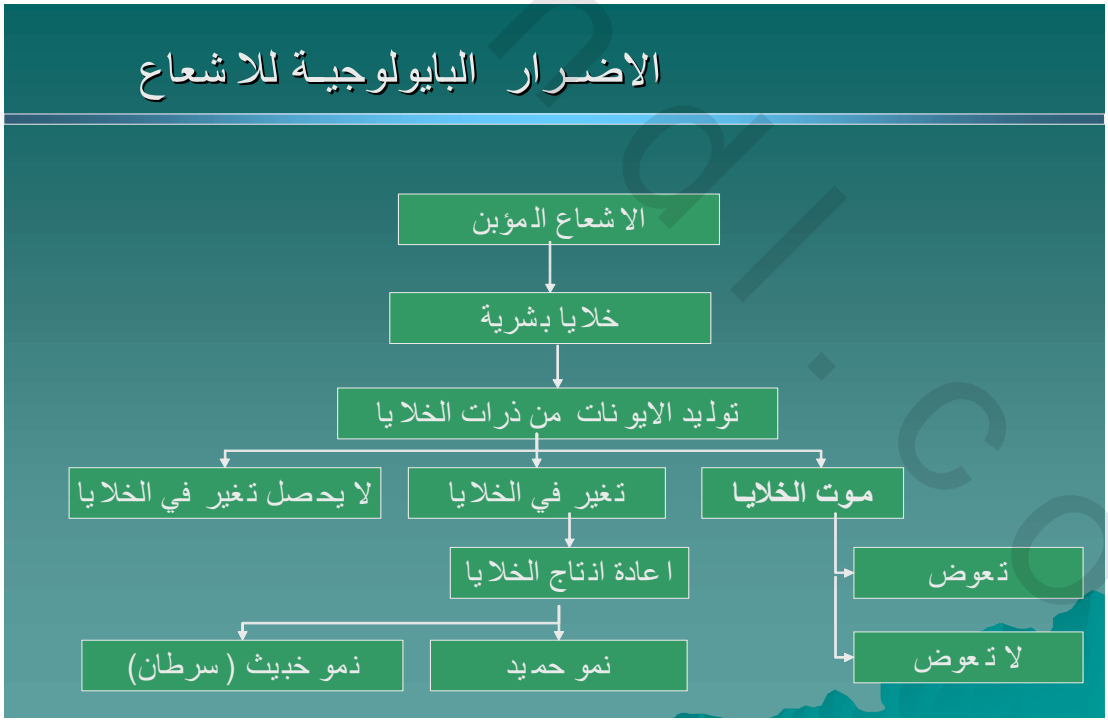


المرحلة الثانية تحصل بعد يوم واحد فأن الشخص يبدأ بالتماثل للشفاء وقد يشفى كلياً بعد عدة أسابيع. أما المرحلة الثالثة من المرض فقد تظهر أضرار بليغة للجسم نتيجة لتأثيرات التعرض

للإشعاع والتي تبدأ بنقصان كريات الدم ، وضرر الجهاز المعوي المعدي.....الخ وقد ينتج عن ذلك الوفاة والتي تعتمد على الجرعة التي يتعرض لها الفرد. شكل (٢ – ٨).

يصاب الشخص الذي يتعرض لجرعة عالية من الإشعاعات المؤينة بالمرض الإشعاعي واهم أعراضه: شعور الشخص بالتقيؤ والغثيان وتبدأ أعراض هذا المرض في الظهور بعد ساعات قليلة من التعرض للإشعاعات . وقد تقصر مدة ظهور الأعراض أو تطول وذلك حسب قيمة الجرعة الممتصة من الإشعاعات . فإذا كان مكافئ الجرعة الممتصة خلال فترة زمنية قصيرة في حدود (٣) سيفرت فانه يمكن أن يحصل خطر الموت.ويوضح الجدول (٢ – ١) اعراض وتأثيرات الاشعاع كدالة للجرعة . ويزداد احتمال الوفاة المبكرة بهذا المرض كلما زادت الجرعة الممتصة فإذا كان مكافئ الجرعة في حدود (١٠) سيفرت فانه يمكن أن تحدث الوفاة خلال فترة تتراوح بين أسبوع أوأسبوعين.نتيجة إتلاف عدد كبير من الخلايا المبطنة للجدار المعوي. وتجدر الإشارة إلى انه لاتوجد قيمة محددة للجرعات المميتة والجرعات الغير مميتة . ولكن يمكن القول بشكل عام بأنه إذا كان مكافئ الجرعة يتراوح بين حوالي (١–٥) سيفرت فإن احتمال الوفاة يكون صغيرا أما إذا زاد مكافئ الجرعة عن حوالي (١٥) سيفرت فان احتمال الوفاة المبكرة يكون كبيرا .

شكل (٢ -٨) تأثير الإشعاع المؤين على الخلايا البشرية وتوليد الاورام



الجدول (٢ -١) اعراض الاشعاع وتاثيراتة بزيادة مكافئ الجرعة

الجرعة	الاعراض	التأثيرات	النسيج او العضو	ماذا يحصل
1Sv	لاتتولد أي اعراض	نقصان مؤقت في كريلت الدم لبيضاء	نخاع العظم	تعود الكريات الى وضعها الطبيعي بعد فترة قصيرة
2Sv	يتولد مرض اشعاعي بعد عدة ساعات التعرض	نقصان مؤقت في كريات الدم لبيضاء والحمراء بنسبة 50%	نخاع العظم	تعود الكريات الى وضعها الطبيعي بعد فترة غير قصيرة
3Sv	يتولد مرض اشعاعي بعد عدة ساعات التعرض والتهابات بكتيرية ودم في الخروج	نقصان كبير في كريات الدم لبيضاء والحمراء بنسبة 50%	نخاع العظم	خطر الموت او ان الشخص يشفى بعد عدة اسابيع اوعدة اشهر

الجرعة	الاعراض	التأثيرات	الانسجة او الاعضاء	المخاطر
4-6 Sv	جميع الاعراض السابقة بالإضافة الى النزيف الداخلي	تلف الانسجة المخاطية لغشاء الامعاء،تساقط الشعر الموقت بجرعة 4Sv)(تصل و والتساقط الدائمي عند الاريثيميا، (7Sv)	غشاء الامعاء ،الجلد ، الرئتين	احتمال الوفاة بعد يوم من -30) 60) التعرض
6-15 Sv	التهابات بكتيرية بعد عدة ايام وظهور دم مع الخروج	اضرار للجهاز الهضمي والرئتين وحروق اشعاعية	الجهاز الهضمي	احتمال الوفاة بعد يوم(10-20) من التعرض
15 Sv& above	فقدان الوعي والغيبوبة	تلف الجهاز العصبي المركزي وصدمة قلبية	الجهاز العصبي المركزي	احتمال الوفاة بعد يوم(1-5) من التعرض

يؤدي التعرض إلى مصادر إشعاعية غير مدرعة كبيرة كالتي تستخدم في التشعيع الصناعي إلـــى جميع الأضرار الإشعاعية المعروفة سابقاً وحتى بعد عدة ثواني من التعرض. لهذا السبب تأخـــذ الاحتياطات المناسبة للوقاية من الإشعاع في هذه المنظومات.

ومن أهم التأثيرات القطعية:

١ - تناقص كرات الدم Blood count depression

تعرض عموم الجسم الى جرعة مقدارها ١ سيفرت أو أكثر تؤدي إلى تخريب الغدد اللمفاوية الحساسة للإشعاع أو نخاع العظم الذي تكون خلاياة مسوؤلة عن إنتاج خلايا الدم البيضاء والحمراء، هذا الإنتاج يضطرب نتيجة لامتصاص الإشعاع. يتراوح عمر خلايا الدم بين عدة أيام إلى عدة أسابيع اعتمادا على نوع الخلايا، وعند تعرض الخلايا للإشعاع فإن ذلك يؤدي إلى موت الخلايا بعد زمن قصير من التعرض. عدم إنتاج خلايا جديدة يؤدي إلى نقصان حاد في عدد الكريات في الدم وهذا النقصان يعتمد على الجرع الإشعاعية المستلمة. النقصان في عدد الكريات الحمراء بمقدار ١٥% من عددها الأصلي بعد عدة أسابيع من التعرض يؤدي إلى خفضن مناعة الجسم ويكون الإنسان معرضاً للالتهابات الحادة والأمراض. وقد تحصل الوفاة نتيجة لعوامل ثانوية إلا إذا وضع الإنسان في حيز معفر (معقم) طبياً. النقصان في الخلايا الحمراء يؤدي إلى تأثيرات ثانوية مثل فقر الدم (anemic).اوضحت الدراسات إن الأفراد الباقين على قيد الحياة نتيجة للتأثيرات الثانوية للإشعاع فإن الأضرار للخلايا الجذعية (stem cells) سوف يعاد إصلاحها ويعود عدد الكريات إلى المستوى الاعتيادي بعد عدة أشهر من التعرض للإشعاع (شكل٢ – ٩).

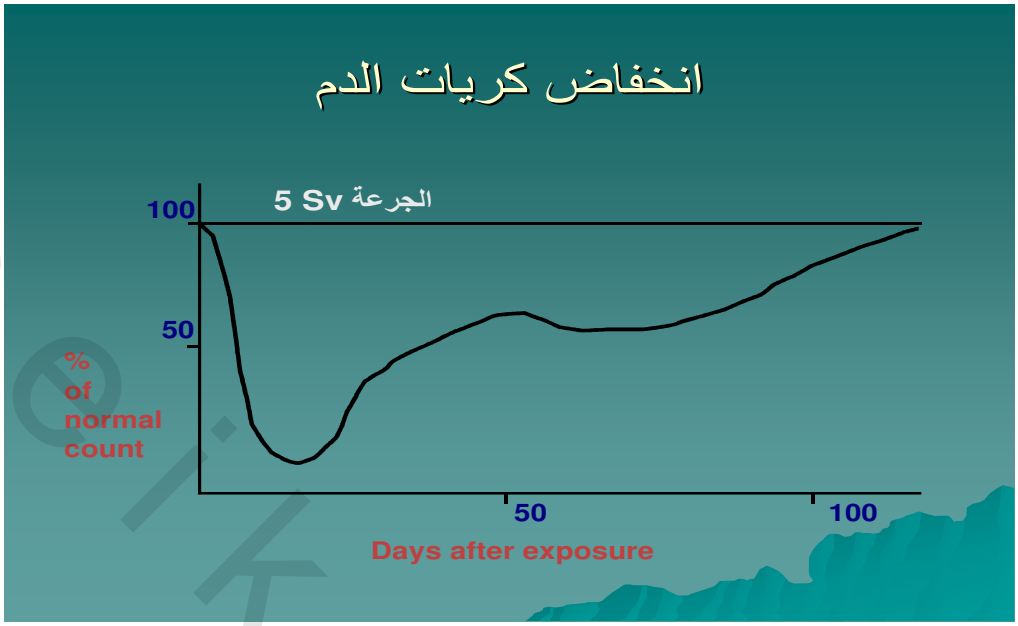
٢- تساقط الشعر Depilation :

يحصل تساقط الشعر المؤقت عند جرعة مقدارها ٤ سيفرت. هذا التأثير يحصل نتيجة لتلف بصيلات الشعر والتي تؤدي إلى توقف إنتاج خلايا شعر جديدة مع فقدان الشعر. و يمكن أن ينمو الشعر من جديد بعد فترة. وعندما تكون الجرعة ٧ سيفرت فإن تساقط الشعر يكون دائماً.

٣- احمرار في الجلد (Erythema) :

يحصل احمرار الجلد عند التعرض إلى جرع إشعاعية عالية نسبيا لان الجلد معرض للإشعاع أكثر من أي نسيج آخر في الجسم، خصوصا بالنسبة للأشعة السينية وأشعة جاما لذا فان التعرض لجرعة مكافئة مقدارها ٥ سيفرت أو أكثر من الأشعة السنية ذات الطاقة المنخفضة تؤدي إلى احمرار الجلد (الاريثيما). وعند زيادة الجرعة يمكن أن تظهر أعراض أخرى كالحروق والتقيحات وغيرها .

(شكل ٢ - ٩) تغير النسبة المئوية لكريات الدم بعد مدة من التعرض



الاحمرار الذي يحصل للجلد مشابه إلى حد كبير للحروق الناتجة عن أشـــعة الشـــمس. إن ســـبب الإحمرار يعود إلى الأضرار الناتجة في للأنسجة الواقعة أسفل الجلد مباشرة. شكل (٢ – ١٠).

٤- حروق نتيجة للإشعاع (Radiation burns)

عند التعرض لجرع تصل إلى ١٠ سيفرت أو أكثر فإن ذلك يؤدي إلى تلف خلايا الجلد وموتها بعد زمن قصير من التعرض والذي يؤدي إلى أضرار حرق الجلد وفي البداية يتقرح الجلد يتبع ذلـــك تليف (necrosis) للأنسجة.العلاج المؤثر يتطلب طبيب أخصائي في معالجة الجروح.ويوضـــح الشكل (٢ – ١١) تأثيرات الاشعاع البايولوجية

شكل (٢-١٠) التأثيرات العشوائية للإشعاع المسببة لاحمرار الجلد وتساقط الشعر

obeikandi.com

٥ - الجهاز العصبي المركزي

زيادة الجرعة الإشعاعية بصورة مضطردة يزيد احتمال الوفاة من خلال التجارب التي أجريت على الحيوانات المختبرية والذي أظهر التشخيص الطبي وجود تلف جزئي في الجهاز العصبي المركزي ولهذا تسمى هذه الجرع بالجرع المميتة مع ملاحظة أن الموت لا يحدث مباشرة حتى في الحيوانات المختبرية التي تتعرض لجرعات تزيد على (٥٠٠) كري . وهناك القليل جدا من هذه المعلومات حول الإنسان في هذه الجرع .

٢ – ٤ : التأثيرات العشوائية Stochastic effect .

التأثيرات الحادة هي التأثيرات التي تلاحظ بعد التعرض الجدي لحادث إشعاعي يؤدي إلى تعرض الفرد إلى جرعة إشعاعية كبيرة، ولحسن الحظ فإن مثل هذه التأثيرات غير شائعة. ومع ذلك فهناك احتمال للأضرار الناتجة من الإشعاع عند التعرض إلى جرع إشعاعية واطئة والذي يتسبب في استحداث السرطان شكل (٢ – ١٢).

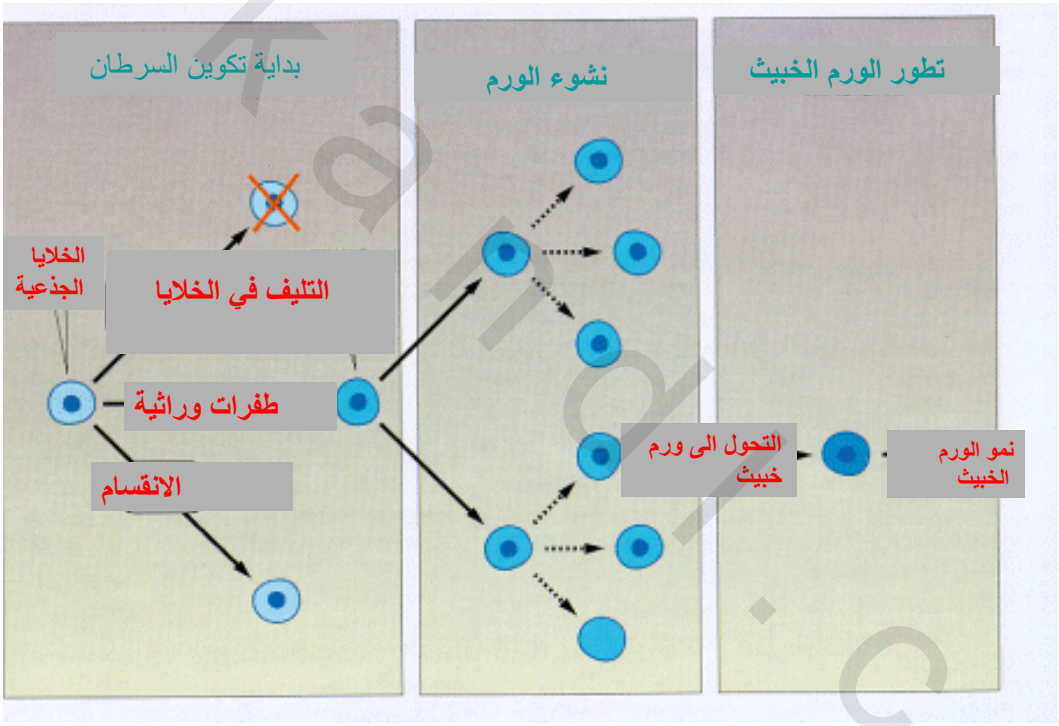
الشكل (٢ -١١) تأثيرات الإشعاع البايولوجية

الدراسات والأبحاث لمجموعة من الأفراد تعرضوا إلى جرع قليلة من الإشعاع أشارت إلى امكانية تعزيز استحداث السرطان من التعرض الإشعاعي والذي يزداد إحتمالة بزيادة الجرعة الإشعاعية. ومع أن الدراسات العملية للجرع الواطئة قليلة إلا أنه افترض بأنه لا توجد جرعة يكون التعرض للإشعاع عندها أميناً. لذلك فإن أي جرعة مهما كانت قليلة قد تؤدي إلى تأثيرات ضارة. هذا النوع

من التأثيرات تؤدي إلى حصول تأثيرات ضارة تتناسب طردياً مع الجرع المستلمة والذي يسمى بالتأثيرات العشوائية.وقد تحصل التاثيرات العشوائية إذا حدث تحورفي الخلية المشعة دون ان تقتل.وقد تتطور الخلايا المتحورة بعد عملية طويلة الى سرطان.

وهكذا فان تأثير الإشعاعات على الإنسان والكائنات الحية الأخرى ينتج عن تلف الخلايا. ويمكن أن تتجلى هذه التأثيرات في نفس الشخص المتعرض للإشعاع نتيجة إتلاف الخلايا العادية لجسمه وتعرف هذه التأثيرات عندئذ بالذاتية **Somatic effects** . كذلك يمكن أن تنتقل هذه التأثيرات إلى الأبناء أو الأجيال التالية للشخص المتعرض وتعرف عندئذ بالوراثية **hereditary effects**. تؤدي التأثيرات الوراثية عن تلف خلايا الأعضاء التناسلية للشخص المتعرض للإشعاعات المؤينة.لذلك تقسم التاثيرات العشوائية الى قسمين هما :

شكل (٢ - ١٢) الإلية الحيوية لاستحداث السرطان



١ – التاثيرات الذاتية (Somatic Effects)

٢ – التاثيرات الوراثية (Heredity Effects)

٢- ٤ - ١ التأثيرات الذاتية للإشعاعات :

وهي التاثيرات الصحية على الاشخاص المتعرضين للإشعاع وتؤدي الى استحداث انواع كثيرة من السرطان اكثرها شيوعا سرطان الدم(اللوكيميا) حيث ان الفترة الكامنة لهذا المرض تتراوح من

٢ – ٥ سنة(الفترة الزمنية من بداية تكون المرض حتى ظهورة سريريا) وتتولد انواع اخرى بفعل الاشعاع تختلف في فتراتها الكامنة مثل سرطان الرئتين ،القولون،والمعدة

تنقسم التأثيرات الذاتية إلى نوعين:

ا -التأثيرات المبكرة: The early effects.

التأثيرات المبكرة للإشعاع هي تلك آلتي تحدث خلال فترة زمنية تتراوح بين عدة ساعات وعدة أسابيع من وقت التعرض لجرعة كبيرة من الإشعاعات خلال زمن قصير (لمدة ساعات قليلة) إن سبب هذه التأثيرات يعود إلى استنزاف جزء كبير من خلايا بعض أعضاء الجسم بسبب قتلها أو منع أو تأخير انقسامها. وتعود معظم أمراض التأثيرات المبكرة إلى تلف خلايا النخاع العظمى أو الخلايا العصبية أو الخلايا المعوية تبعا للجرعة الممتصة.

يمكن تقيم الجرعة آلتي يمكن اعتبارها مميتة بالنسبة لنصف المتعرضين (٥٠%منهم) خلال ثلاثين يوما من التعرض إلى حوالي (٣) كرى وبالنسبة للجرعات آلتي تتراوح بين (٣ – ١٠) كري تحدث الوفاة عادة بسبب التعرض الى الالتهابات الثانوية **Secondary Infections** ، حيث أن هذه الجرعات تؤدي إلى استنزاف كريات الدم البيضاء وهي الكريات المسئولة عن مناعة الجسم ووقايته من العدوى . لذا يعرف مدى الجرعات من (٣ – ١٠) كري بمنطقة الموت بالعدوى وفي هذه المنطقة يمكن زيادة فرص البقاء بعزل المريض ووضعه في جو كامل التعقيم (معفر) ونقل نخاع عظمي إليه لتنشيط عملية إنتاج كريات الدم البيضاء.أما بالنسبة للجرعات التي تزيد على (١٠) كري فان زمن البقاء على قيد الحياة ينخفض بصورة حادة إلى ما بين (٣ إلى ٥) أيام وتظل بحدود هذه المدة تقريبا حتى الجرعات العالية جدا . وفي هذه الحالات يؤدي الإشعاع إلى الاستنفاذ الشديد لخلايا بطانة الأمعاء يتبعها هجوم شديد للبكتيريا على الجسم وهذا ما يسمى بمنطقة الوفاة الناتجة عن الالتهابات المعوية .

ب -الآثار المتأخرة The Late effects.

مستويات الجرعة الناتجة عن الاشعاع المنبعث من مفاعلات البحوث ومحطات الطاقة النووية أو من التطبيقات الصناعية والطبية للإشعاع هي اقل بكثير من معدلات الجرعات التي تؤدي إلى التأثيرات المبكرة للإشعاع. غير أن الجرعات المنخفضة التي يتعرض العاملين في الاشعاع عند التشغيل المعتاد قد يؤدي إلى آثار ضاره على المدى البعيد .

لقد اوضحت الدراسات الوبائية منذ أوائل القرن التاسع عشر أن مجموعات من الناس من مصوري الأشعة ومرضاهم والعلماء الاوائل في النشاط الاشعاعي (كوري وزوجته) الذين تعرضوا لمستويات عالية نسبيا من الإشعاع قد ظهرت فيهم أنواع من السرطان بنسب أعلى مما هو الحال عند المجموعات التي لم تتعرض للإشعاع والتي كانت سببا في موتهم . وفي دراسة تفصيلية لسكان

تعرضوا للإشعاع الناتج عن اجراء التجارب النووية واستخدام السلاح النـــووي فـــي هيروشـــيما ونكزاكي ولمرضى تم علاجهم بالإشعاع وكذلك المجموعات التي تعرضت للإشعاع أثناء العمـــل وبخاصة عمال مناجم اليورانيوم . ظهرت قدرة الإشعاع على استحداث السرطان .والسرطان هو تكاثر غيرمسيطرعلية للخلايا في أحد أعضاء الجسم ، ويظن أن السرطان يحدث بسبب تلف جهاز التحكم في خلية فردية فيؤدي ذلك إلى الانقسام بسرعة أكثر من انقسام الخلية الصحيحة . ثم ينتقل هذه الخلل إلى الخلايا الوليدة وبهذا يزداد عدد الخلايا الشاذة إلى حد يؤدي الـــى مـــوت الخلايـــا الصحيحة في نسيج العضو . إن تقيم خطر حدوث السرطان بسبب الإشعاع عملية معقده بســـببين مهمين هما:

١ – طول الفترة الكامنة للسرطان والتي تتغير ما بين حوالي ٢–٥ سنة لسرطان الدم إلى ٣٠ سنة أو أكثر في السرطانات الاخرى .

٢ – و لا يمكن عادة تمييز السرطان المستحث بالإشعاع عن السرطان الاعتيادي .

غير أنه في المستويات العالية نسبيا من التعرض للمجموعات المذكورة آنفا يمكن عمل تقديرات تقريبية ثم استقراء خطر التعرض لمستويات منخفضة جدا من الإشعاع كالتعرض الاشعاعي للعمل الاعتيادي لمنشات الطاقة النووية.ان استقراء تأثيرات الجرع الواطئة من تقديرات خطر التعرض للجرعات العالية غير دقيقة و تحوي الكثير من الشك.

اوصت الهيئات الدولية للإشعاع على أن الأساس العملي للوقاية الإشعاعية هو ان الجرع الاشعاعية مهما كانت صغيرة فإنها تؤثر بمخاطر اشعاعية . وقد تم ذلك من خلال استقراء الخطر الناتج عن الجرعات العالية على افتراض أن العلاقة طردية بين الجرعة والخطر .

احد الدراسات قيمت الخطر الناتج عن الإشعاع بعدد حالات السرطان المتوقعة بالمليون الناتجة عن التعرض إلى مكافئ جرعة قدره ١ **mSv**. فان عدد السرطانات القاتلة المتسببة عـــن الإشـــعاع للذكور هو حوالي ١٠ حالات والتي قد تظهر خلال فترة تمتد بضع عقود . أما في حالة الإناث فان عدد إصابات السرطان المتولدة عن الإشعاع فيتوقع أن تكون حوالي ١٥ حالـــة بســـبب الخطـــر الإضافي بتولد سرطان الثدي .أما معدل خطر السرطان في خليط من الجنسين فستكون ١٣ حالـــة تقريبا في المليون لكل ملي سيفيرت.

هناك أثر متأخر آخر محتمل للإشعاع ألا وهو إعتام عدسة العين لان عدسة العين حساســـة جـــدا للإشعاع وعند تعرضها تتجمع البروتينات في العين عند جرعة تصل الى ٢ كري .وهناك تأثيرين مهمين هما عدم وضوح الرؤية وعتمة العين كما في الجدول التالي:

التأثير	مكافئ الجرعة سيفرت	سيفرت\ سنة لعدة سنوات
مؤشرات عن عدم وضوح الرؤية	٢ – ٥	اقل من ١ .٠
عتمة العين	٥	اقل من ٥ ١ .٠

هناك حدا للجرعة لا يحدث دونه إعتام لعدسة العين وهذه الجرعة بحدود ٥ سيفيرت . ولهذا فإذا ما وضع حد لا تتجاوزه الجرعة الكلية المتجمعة فيه خلال العمر فيمكن تجنب حدوث عتمة عدسة العين بسبب الإشعاع .

ومع إن هذه التأثيرات تم ملاحظتها في التجارب الحيوانية ولكنها لم تلاحظ بشكل كبير بالأفراد المتعرضين للإشعاع وخاصة من التفجير النووي في هيروشيما ونكزاكي ومن أهم الدراسات التي توضح تأثير الجرع الواطئة هي :

١ – الناجين من التفجيرات النووية في هيروشيما ونكزاكي.يوضح الشكل (٢ – ١٣) صورة لبعض الناجين من سكان هيروشيما بعد التفجير النووي. هذه الدراسات أعطت الكثير من تأثيرات الجرع الواطئة مع أنه من الصعب تحديد الجرع المستلمة للأفراد وتحديد نماذج بشرية للسيطرة من أجل المقارنة. مع ذلك فقد بينت الدراسات أن نسبة من الناجين أصيبوا بسرطان الدم أو السرطانات الأخرى.

٢ – الأطفال المعرضين للإشعاع نتيجة لتصوير امهاتهم بصورة إشعاعية لمنطقة البطن أو الحوض خلال فترة الحمل.

٣ –الأطفال المعالجين بالإشعاع نتيجة لتضخم الغدة الدرقية حيث أن العلاج يؤدي تشعيع ذات مستوى عالي لجزء صغير من الجسم.

٤ – البالغين المصابين بمرض العمود الفقري **ankylosing spondylitis** والذي يستدعي علاجهم بالإشعاع الذي يؤثر على نخاع العظم أو مرضى الغدة الدرقية والتي تعالج باليود المشع.

٥ –أوضحت الدراسات الوبائية بأن هناك علاقة بين زيادة كمية الراديوم في الجسم (وهو من العناصر التي تتركز في العظام) وسرطان العظام.

٦ – عمال المناجم يتعرضون إلى مستوى عالي من الغازات أو الجسيمات الصلبة المشعة. التعرض للإشعاع لهؤلاء العمال يبين بأن هناك عدداً كبيراً من العمال أصيبوا بسرطان الرئة.

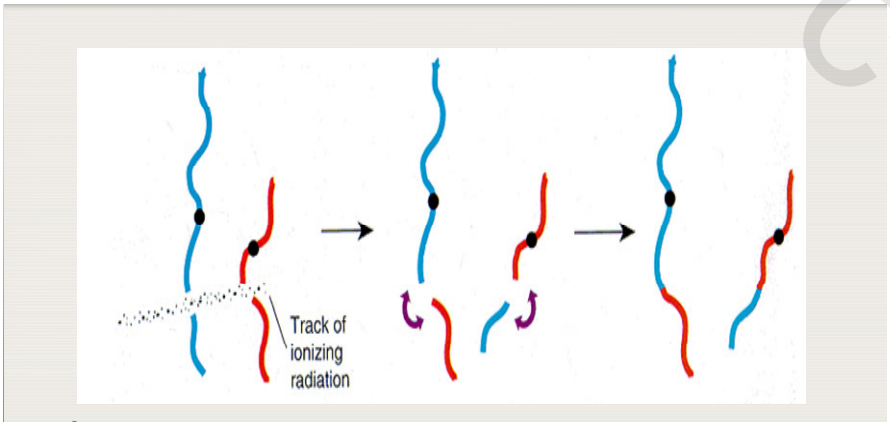
obeikandl.com

الشكل (٢ - ١٣) صورة لبعض الناجين من سكان هيروشيما بعد التفجيرالنووي.

٢ – ٤ -٢ التأثيرات الوراثية للإشعاع :

مع تضاؤل الجرعات فان آليات الجسم الخاصة بالتجديد والدفاع تجعل هذه النتيجة غير محتملة الى حد كبير.غير أنة لايوجد ما يدل على ان هناك حد للجرعة لايمكن للسرطان ان يحـــدث دونه،ويزداد الاحتمال بالإصابة بالسرطان كلما ازدادت الجرعة. وإذا كانت الخلية التي أتلفها الاشعاع خلية جرثومية وضيفتها نقل الصفات الوراثية الى الذرية فتحصل التأثيرات الوراثية حيث ان التكسر الذي يحصل في الحامض النووي قد يعاد اصلاحة بشكل غير منتظم نتيجـــة التصاق الجزء المقطوع من احد الكروموسومات مع الجزء المقطوع من كروموســـوم أخـــر ويتولد مايدعى بتغير المواقع(translocations) شكل (٢ – ١٤) .

شكل (٢ -١٤) تغير مواقع الكروموسومات

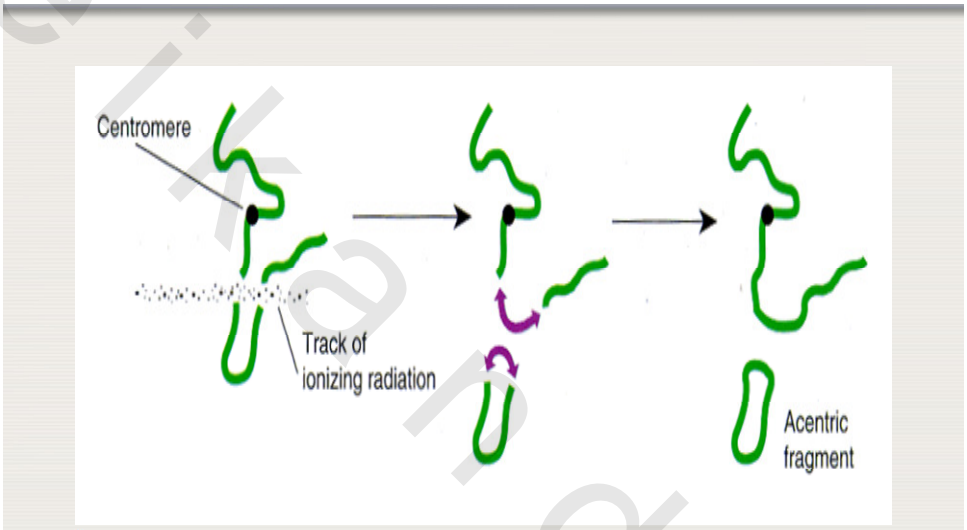


openkan.com

أو ان أجزاء الكروموسومات تلتصق مع بعضها بشكل حلقات بدون السنترومير ويسمى ذلك مسح الكروموسوم (Chromosomal deletions) شكل (٢ – ١٥).

كل هذه التغيرات تدعى بالشذوذ الكروم وسومي (Chromosomal aberration)من اهم التأثيرات العشوائية وهي الآثار الناتجة في ذرية الكائن نتيجة للتلف الإشعاعي لأعضائه التناسلية.وبالإضافة الى الآثار الصحية المذكورة اعلاة،يمكن حدوث اثار صحية في الرضع بسبب تعرض الأجنة للإشعاع. وتشمل هذه الآثار زيادة احتمال الاصابة بسرطان الدم، وكذلك الاصابة بالتخلف العقلي والتشوهات الخلقية ويوضح الجدول التالي هذه التاثيرات.

شكل (٢ - ١٥) مسح الكر وموسوم (Chromosomal deletions)



جدول رقم (٢ - ٢) التاثيرات الاشعاعية على الرضيع

الفترة بعد الحمل	التأثير	احتمال التأثير على الرضيع
الثلاث اسابيع الأولى	لا تاثير اكيد او عشوائي على حياة الرضيع	--
من الاسبوع الثالث حتى الثامن	احتمال تشوه بعض الأعضاء	0.06 (١ لكل ١٧)
من الاسبوع الثامن حتى الاسبوع ٢٥	احتمال الاصابة بالتخلف العقلي	0.005(١ لكل ٢٠٠)
الاسبوع الرابع من الحمل	احتمال الاصابة بسرطان في الطفولة اوعند البلوغ	0.001 (١ لكل ١٠٠٠)

احد انواع التأثيرات الوراثية للإشعاع العقم في الذكوراو الإناث نتيجة قتل الخلايا التناسلية في المعرضين . إذ يأخذ هذا التلف شكل تغيير يدعى بالطفرات الوراثية في المادة الوراثية للخلية.

من المعلوم بان التكاثر يحدث عند تلقيح البويضة بواسطة الحيوان المنوي ، ونتيجة لذلك فان الذرية تحصل على مجموعتين كاملتين من الجينات من كل من الوالدين.وحسب قوانين مندل في الوراثية التي تبين أن أحد الجينات يكون متغلبا والآخر يكون متنحيا ويكون الجين المتغلب الصفة المعينة

التي يحملها . أما الجينات المتنحية فيمكن ملاحظتها عندما يجتمع اثنان من الجينات المتنحية معا. يمكن للإشعاع أن يولد الطفرات الوراثية التي لا يمكن تمييزها عن الطفرات التي تحدث طبيعيا. الحرارة والمواد الكيميائية يمكنها كذلك أن تسبب الطفرات ويكون الجين ذو الطفرة المتنحية في العادة.

الاهتمام بأساسيات الوقاية من الاشعاع المؤين يمكن أن تقلل من معدل حدوث الطفرات ، وتقلل من عدد الشاذين جينيا في الأجيال القادمة . مخاطر التأثيرات الوراثية بسبب تعرض الغدد التناسلية للإشعاع غير معلوم تماما ، فقد قدرت الهيئة الدولية للوقاية الإشعاعية **ICRP** خطر الإصابة بمرض وراثي خطير في الجيلين الذين يليان تعرض أحد الوالدين للإشعاع بحوالي ١٠ أفراد بالمليون\ ميلي سيفرت ، ويقدر الخطر لكل الأجيال القادمة بحوالي ضعف هذا العدد . أن التعرض المؤثر على الصفات الوراثية الذرية هو ذلك التعرض الذي يحدث حتى نهاية فترة التخصيب . ولان معدل عمر الإنجاب حوالي ٣٠ سنة ، فان جزءا محدودا من الجرعة الإشعاعية التي تتعرض لها عينة سكانية ستكون مضرة جينيا ويكون معدل الخطر الجيني الكلي في كل الأجيال من الجنسين ولكل الأعمار هو ٨ تأثيرات خطيرة بالمليون\ ميلي سيفيرت.

لقد أدخلت **ICRP** مصطلح العتبة للتمييز بين التأثيرات التي يعتمد احتمال حدوثها على الجرعة المتعرض لها ، وتلك التي تعتمد شدتها على الجرعة ، وتدعى الأولى بالتأثيرات غير العتبية أما الأخرى فتدعى بالتأثيرات العتبية .

التأثيرات غير العتبية هي التأثيرات التي قد تحدث أو لا تحدث وليس هناك حالة وسط بينهما. ولهذا فالسرطان والتأثيرات الوراثية هي من التأثيرات غير العتبية واحتمال تولد نوع معين من السرطان او الطفرات الوراثية المتولدة بواسطة الإشعاع يعتمد على الجرعة المستلمة. أما التأثيرات المبكرة للإشعاع وبعض التأثيرات المتأخرة مثل إعتام عدسة العين تعتمد شدتها على الجرعة المستلمة ولهذا فان هذه التأثيرات هي كذلك عتبية .

جدول (٢ - ٣) الخطر الضئيل للسرطان القاتل

التأثير	النسيج المعرض للخطر	عدد الحالات في المليون شخص لكل ملي سيفيرت	
سرطان الدم	نخاع العظم الأحمر	٣	٣
سرطان الثدي	ثدي المرأة	-	٥
سرطان الرئة	الرئة	٢	٢
سرطان الدرقية	الغدة الدرقية	١	١
سرطان العظم	خلايا في سطوح العظم	٠.٥	٠.٥
سرطان الكبد	الكبد	١	١
سرطانات أخرى	كل الأنسجة الأخرى	٣	٣
المجموع الكلي	كل الجسم	١٠.٥	١٥.٥

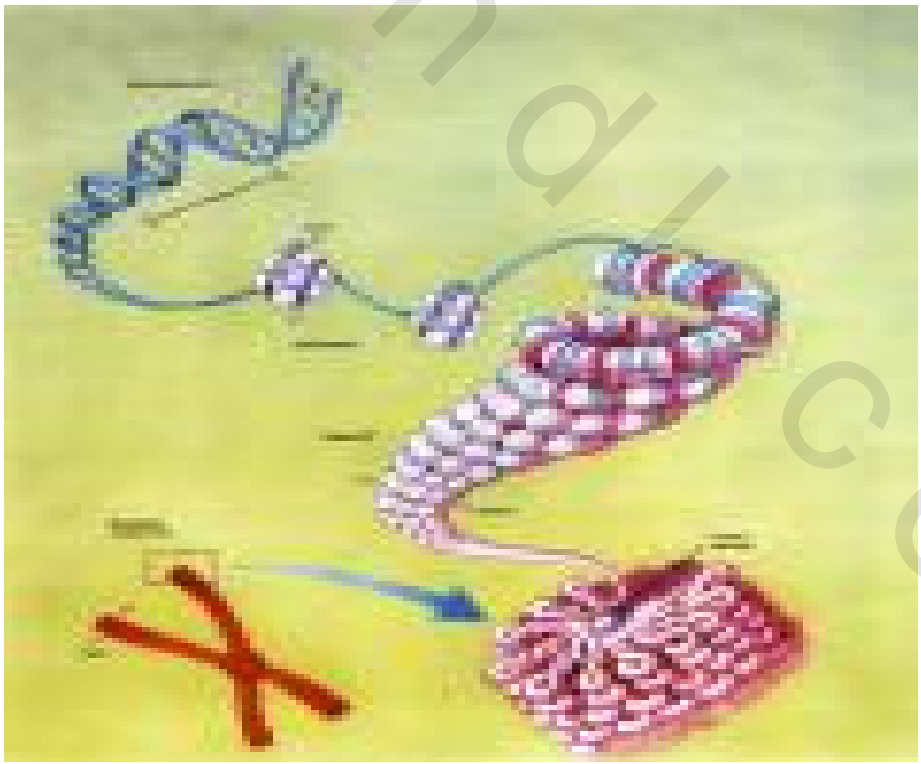
يتراوح عمر الخلية و تكاثرها في الإنسان بين عدة ساعات وعدة سنوات وذلك حسب نوع الخلية وتقوم الخلايا بالتكاثر للمحافظة على النوع وتعويض ما يموت منها . ويحدث هذا النوع من التكاثر مرة واحدة خلال دورة حياة الخلية. ويحدث التكاثر للخلايا الجنسية عند اتحاد الحيوان المنوي في الذكر والبويضة في الأنثى فعند تلاقي الحيوان المنوي مع البويضة يتحدان وتتجمع كروموسوماتهما مكونين بذلك خلية جديدة تحتوي على العدد الكلي من الجينات من كلا الوالـــدين وتتكـــون بـــذلك البويضة المخصبة.

ويتولد الكروموسوم خلال الانقسام حيث ان جزء من DNA يلتف حول جزيئات البروتين ليولـــد خيوط كروماتينية تلتوي هذه الخيوط كذلك لتوليد الكروماتين وترتبط أربع جزيئات كروماتينية في نقطة واحدة تسمى السنترومير وبذلك تتولد الكروموسومات .شكل (٢ – ١٦).

٢ – ٥ مراحل تأثير الإشعاع على الخلايا الحية:

الاشعاع المؤين يتفاعل على المستوى الخلوي للجسم. تقود التفاعلات بين الخلية والإشعاع إلى الضرر الإشعاعي وهي تأثيرات معقدة تولد مكونات أيونية،كيماوية ،وبايولوجية .تقسم هـــذه العمليات الى أربع مراحل هي :

شكل (٢ - ١٦) الانقسام الجنسي للكروموسوم



أ. المرحلة الفيزيائية الابتدائية :

تستغرق هذه المرحلة جزءا ضئيلا من الثانية فقط (حوالي $١٠^{-١٦}$ ثانية) حيث تترسب الطاقة في الخلية وتيجة لذلك تتاين جزيئات الماء والتي تكون ٩٠% من الخلية.ويمكن كتابة هـذه العمليـة بالنسبة للماء كما يلي:

$$H_2O \longrightarrow H_2O^+ + e^-$$

حيث H_2O^+ هو الأيون الموجب (الهيدرونيوم) و e^- هو الأيون السالب (الإلكترون) .

ب. المرحلة الفيزيوكيماوية :

وتستغرق هذه المرحلة حوالي $١٠^{-٦}$ ثانية حيث تتفاعل الأيونات الموجبة لجزيئات المـاء مـع جزيئات الماء الأخرى مؤدية إلى عدد من النواتج الجديدة نتيجة لتحلل الأيون الموجب إلى ايـون الهيدروجين الموجب:

$$H_2O^+ \longrightarrow H^+ + OH$$

والأيون السالب وهو الإلكترون يرتبط بجزئية ماء متعادلة فتتحلل فيما بعد إلى ايون سالب للمـاء والذي بدورة يتحلل ايونات الهيدروكسيد السالبة :

$$H_2O + e^- \longrightarrow H_2O^-$$

$$H_2O^- \longrightarrow H + OH^-$$

وبهذا يكون ناتج التفاعل هو H^+ و OH^- و H و OH ويوجد الأيونين الأوليين بشكل واسع في الماء المعتاد وليس لهما دور في التفاعلات التالية. أما الناتجان H و OH فيطلق عليهما الجذور الحرة (Free - radicals) أي أن لديها إلكترون غير مزدوج ، وبالتالي فهي شديدة الفعالية .

وهناك ناتج آخر للتفاعل وهو بيرو كسيدات الهيدروجين الذي يعتبر من العوامل الشديدة الأكسدة.

$$OH + HO \longrightarrow H_2O_2$$

ج. المرحلة الكيميائية :

وتستغرق بضع ثوان يتم خلالها تفاعل النواتج مع الجزيئات العضوية المهمة في الخلية ، كمـا أن الجذور الحرة والعوامل المؤكسدة قد تهاجم الجزيئات المعقدة للكروموسومات و تربط نفسها بجزيء مما يؤدي إلى كسر الربط في سلسلة الجزيئات الطويلة وإحداث اضرار اولية الى (DNA)

obeikandi.com

د. المرحلة البيولوجية :

حيث يتباين مقدار الوقت من دقائق إلى عشرات السنين ويؤدي الى ثبوت الضرر وموت الخلايا وشذوذ الكروموسومات. تتبع ذلك التأثيرات الطبية وهي اما تكون احد انواع السرطان او تأثيرات وراثية بحسب نوع الأعراض.

كما موضح في الجدول(٢ – ٤). خلاصة التغييرات الكيميائية المناقشة أنفا يمكنها التأثير على الخلية المفردة بطرق عدة قد تؤدي إلى :

(١) الموت المبكر للخلية.

(٢) منع أو تأخير انقسام الخلية .

(٣) التغيير الدائم الذي ينتقل إلى الخلايا الوليدة .

جدول (٢ - ٤)مراحل تأثيرات الاشعاع على الخلية