الفصل الثامن

تأثير الإشعاع الذري على الإنسان

٨ – ١ مصادر المعلومات

٨ – ٢ التأثيرات الحادة للإشعاع الذري

٨ – ٣ الإشعاع الذري والسرطان

٨ – ٤ التأثيرات الوراثية للإشعاع الذري

٨ – ٥ العوامل المؤثرة على تلف الخلايا بالإشعاع الذري

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل الثامن

تأثير الإشعاع الذري على الإنسان

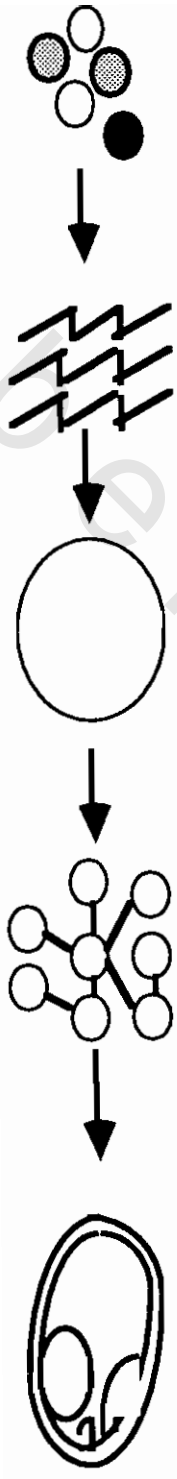
يتناول هذا الفصل مناقشة الآثار الحادة للإشعاع الذري على صحة الإنسان والتي تظهر بعد فترة قصيرة من التعرض للجرع الإشعاعية الكبيرة، وعلاقة التعرض الإشعاعي بمرض السرطان، وبالآثار الوراثية، وتغير ذلك مع العوامل المؤثرة على تلف الخلايا.

من الثابت أن الإشعاع يضر بالأحياء، فالجرع المنخفضة منه يمكن أن تسبب سلسلة من الأحداث غير المفهومة تماماً، والتي قد تؤدي إلى الإصابة بالسرطان، أو إلى التلف الجيني (شكل ٨ - ١). أما الجرع الإشعاعية العالية فيمكن أن تؤدي إلى قتل الخلايا وتلف الأعضاء ومن ثم إلى الموت السريع.

والتلف الذي تحدثه الجرع المرتفعة من الإشعاع يظهر عادة خلال بضع ساعات أو أيام، أما التشوهات الوراثية والأمراض المتسببة عن التلف الجيني فتستغرق أجيالاً حتى تظهر لأن المتأثر بها هم الأعقاب والأحفاد وذراريهم.

وعادة ما يسهل تحديد التأثيرات الحادة للجرع الإشعاعية المرتفعة بعد فترة وجيزة من زمن التعرض بينما يصعب تحديد تأثيرات الجرع الإشعاعية المنخفضة. ويعود هذا بشكل رئيس إلى فترة الكمون الطويلة حتى ظهور هذه التأثيرات، وحتى بعد ظهورها فإنه قد يكون من الصعب الجزم بعزوها للإشعاع لأن الإشعاع ليس هو المتسبب الوحيد للأمراض السرطانية وللتلف الجيني، بل إن مسبباتهما عديدة.

وينبغي للجرع الإشعاعية أن تصل إلى حد معين حتى تولد تأثيرات حادة ليس من ضمنها السرطان والتلف الجيني، ويمكن لأصغر جرعة إشعاعية من



شكل (٨ - ١) كيف يؤثر الإشعاع في الأنسجة الحية :

الجسيمات المشحونة : عندما تدخل جسميات ألفا أو بيتا النسيج فإنها تفقد طاقتها بالتفاعل الكهربائي مع إلكترونات الذرات القريبة من خط سيرها، أما أشعة جاما والأشعة السينية فتفقد طاقتها بطرق عدة، ولكن جميع أنواع الإشعاع الذري تحدث تفاعلاً كهربائيًا.

التفاعل الكهربائي : خلال أعشار المليون بليون (ترليون) من الثانية بعد اصطدام الإشعاع بذرة في النسيج ينفصل إلكترون من الذرة، لذا فإن الذرة الباقية تصبح مشحونة بشحنة موجبة وتدعى هذه العملية بالتأين، وقد يستمر الإلكترون في سيره مؤيناً ذرات أخرى.

التغيرات الفيزيوكيميائية : إن كلا من الإلكترونات الحرة والذرات المؤينة غير مستقرة، وخلال أعشار البليون من الثانية التالية يمران بسلسلة معقدة من التفاعلات مولدة جزيئات جديدة من ضمنها جزيئات شديدة الفعالية تدعى «الجذور الحرة».

التغيرات الكيميائية : خلال واحد بالمليون من الثانية التالية قد تتفاعل هذه الجذور الحرة مع بعضها البعض، أو مع غيرها من الجزيئات وتمر بسلسلة من العمليات غير المفهومة تماماً بعد، والتي قد تقود إلى تغيرات في جزيئات مهمة أحياناً لارتباطها بنشاط الخلايا.

التأثيرات الأحيائية : إن هذه التأثيرات الأحيائية التي يمكن أن تحدث خلال فترة تمتد من بضع ثوان إلى عقود بعد التعرض للإشعاع قد تقتل الخلايا مباشرة أو تغيرها بطريقة تقود إلى نشوء السرطان أو إلى حدوث التأثيرات الوراثية (٢٨).

الناحية النظرية أن تحدث تأثيرات متأخرة، لهذا لا يمكن اعتبار أي تعرض للإشعاع ــ مهما قل ـ بأنه آمن إلا أن خطورته تتفاوت من شخص إلى آخر. كما أن الجرع المرتفعة نسبيًّا لا يتأثر بها الجميع بنفس الدرجة؛ لأن نظام الترميم في الجسم والذي يختلف من إنسان إلى آخر، يحاول إصلاح التلف المتسبب عن الجرع الإشعاعية، ولن يكون المصير المحتوم للشخص المتعرض لجرعة من الإشعاع الإصابة بالسرطان أو التلف الجيني ولكن احتمال إصابته بأحدهما أو بكليهما أكبر مما لو أنه لم يتعرض للإشعاع. ويزداد هذا الاحتمال اطراديًّا مع ازدياد جرعة الإشعاع.

لقد حاولت اللجنة العلمية للأمم المتحدة المختصة بتأثيرات الإشعاع الذري (اليونسير) بقدر ما تستطيع من دقة، أن تحدد مقدار الخطر الذي يواجه الناس من الجرع الإشعاعية المتفاوتة، وأجريت بحوث حول تأثيرات الإشعاع أكثر مما أجري على تأثيرات غيره من الأخطار، ولكن كلما قلت الجرعة الإشعاعية أو بعدت مدة ظهور التأثيرات كلما قل معها الوثوق بالمعلومات المستخلصة ذات العلاقة المباشرة بهذا الموضوع.

٨ – ١ مصادر المعلومات [١]:

تستقى المعلومات حول تأثيرات الإشعاع الذري على الكائنات الحية من خمسة مصادر رئيسة هي:

أ – من التجارب المباشرة على الحيوانات والنباتات.

ب – من نتائج علاج المرضى من بني البشر باستخدام أنواع مختلفة من الإشعاع مثل: العلاج بالأشعة العميقة، أو العلاج بالنظائر المشعة.

جـ – من نتائج التعرض المهني للأنواع المختلفة من الإشعاع من مثل ما يتعرض له كل من: مستخدمي الأشعة السينية، والعاملين في طلاء وجوه

الساعات بالراديـوم، وعمال المناجم، والعاملين في الصناعة وفي المختبرات التي تستخدم المواد المشعة، والمتعرضين للحوادث النووية.

د – من الخبرة المكتسبـة في أبحاث وإنتـاج وتفجير القنـابل النوويـة من مثل قنبلتي هيروشيما وناجازاكي، وتجارب القنابل النووية التي قامت بها دول عديدة من مثل الولايـات المتحدة الأمريكيـة والاتحاد السوفيتي (سابقـاً) والصين والهند وفرنسا وبريطانيا وجنوب أفريقيا والكيان الصهيوني في فلسطين المحتلة.

هـ – التجارب على الخلايا الحية المستنبتة من كل من الحيوانات والنباتات.

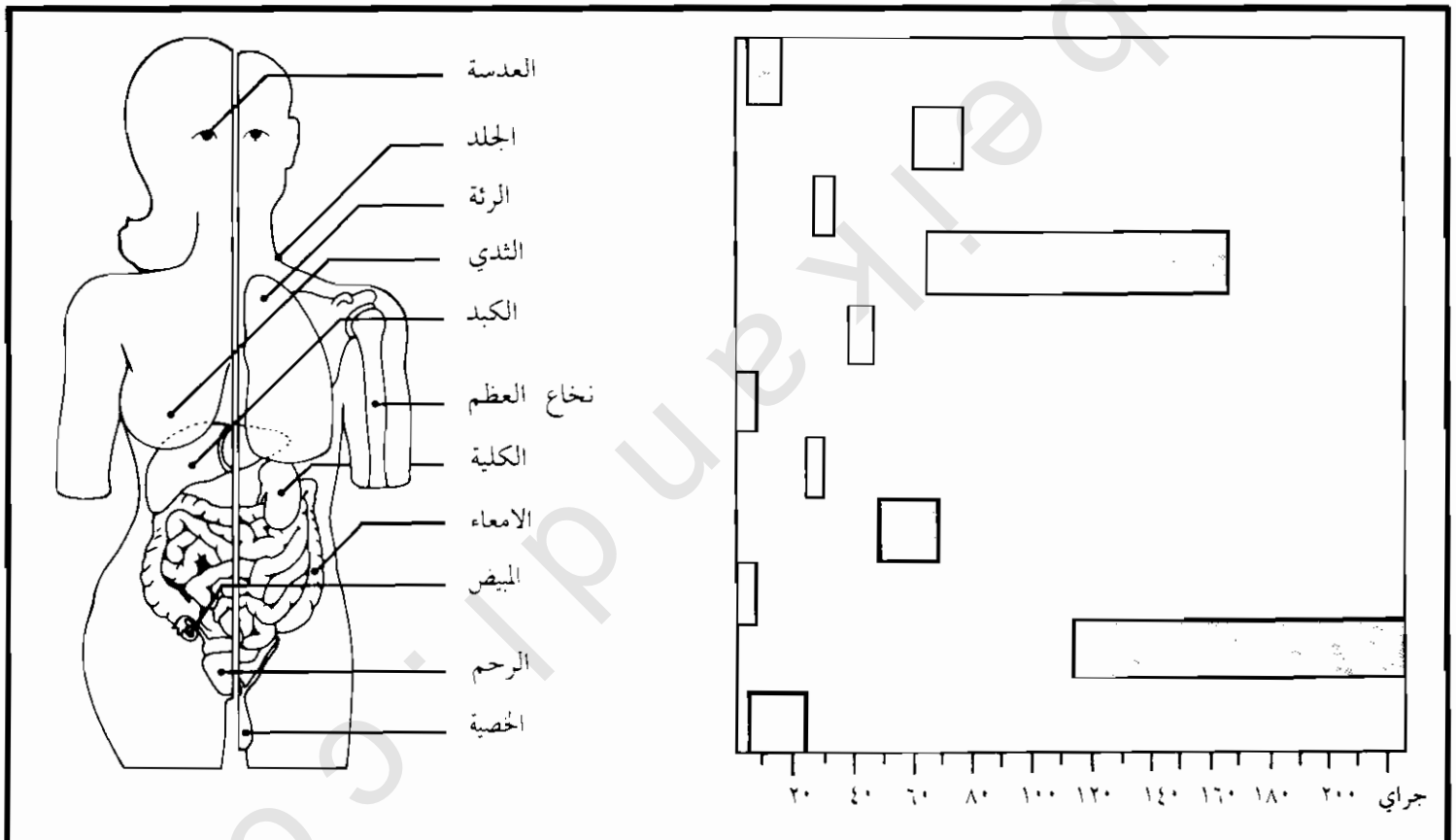
٨ – ٢ التأثيرات الحادة للإشعاع الذري (١٠،٢٨):

في أحـدث تقريـر مستفيض للجنـة اليـونسير حول التأثيرات الحادة للجـرع الإشعاعية العالية، ثبت أن التلف يظهـر بعد تجاوز الجرعة الإشعاعية مقداراً أو حدًّا معيناً [عتبة]، ولكل نوع من أنواع التلف عتبة محددة.

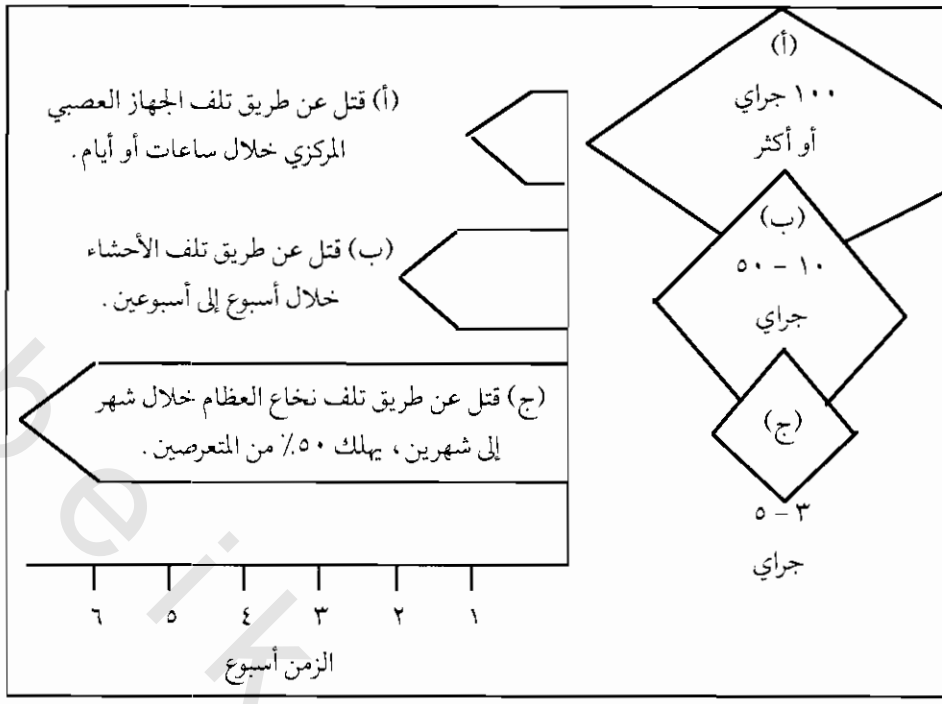
لقد تـوافرت للبـاحثين معلومـات كثيرة حول التغيرات الحيـوية التـي يحدثها الإشعـاع في أنسجـة الإنسان المختلفـة وذلك من نتـائج استخـدام الإشعـاع في عـلاج مرضى السرطـان بصفة أسـاسيـة، ويتباين تأثـر أجزاء الجسم المختلفـة بالإشعاع تبايناً كبيراً كما هو موضح في الشكل (٨ – ٢)، كما يتباين تأثير الجرعة الإشعاعية الواحدة تبعاً لكيفيـة إعطائها؛ دفعة واحدة أو على دفعات، فمعظم الأنسجة الحيـة لها قدرة هائلـة على إصلاح التلف الإشعاعي فيهـا إذا لم تتجاوز حدًّا معينـاً، ولهذا يمكنها تحمل جـرعات إشعـاعية صغيرة متقطعـة أفضل من تحملها لجرعة واحدة كبيرة.

فإذا كـانت الجرعة الـواحدة كبيرة جـدًّا فإن الشخص المتشعع يهلك؛ وذلك لأن الجرعة الإشعـاعية العاليـة جدًّا بحـدود ١٠٠ جراي لكل الجسم [١] تتلف الجهـاز العصبي المركزي إلى درجـة أن الموت قـد يحدث خلال سـاعات أو أيـام

شكل (٨ ـ ٢) الجرع «المقبولة» في العلاج الإشعاعي وتبين الاختلاف في حساسية الأعضاء للإشعاع (٢٨)



(١) إن الجرع في هذا الشكل مستقاة بتصرف من كتاب Rubin and Casarett المعنون Clinical Radiation Pathology . ويمكن قبولها إذا أعطيت إلى مرضى على خمس دفعات في الأسبوع . إن القول بأن الجرع «مقبولة» هي للمؤلفين وليست لليونسير. والشكل يعطي تصور تقريبي للاختلاف في حساسية الأعضاء للإشعاع .



شكل (٨ - ٣) الجرعة اللازمة لإحداث الموت (٢٨)

(شكل ٨ - ٣)، وعند جرع ١٠ إلى ٥٠ جراي لكل الجسم فإن الشخص المصاب قد ينجو من هذه النهاية ليموت من التلف في الجهاز الهضمي خلال أسبوع أو أسبوعين. وإذا ما قلت الجرعة عن ذلك فإن المصاب قد ينجو من إصابة جهازه الهضمي أو يشفى منه، ولكن ستؤدي به إلى الهلاك بعد شهر أو شهرين نتيجة التلف في نخاع العظام وهو النسيج المولد لخلايا الدم، والجرعة الإشعاعية بحدود ثلاثة إلى خمسة جراي لكل الجسم تقتل نصف الناس المتعرضين لها، لذا فإن زيادة الجرعة الإشعاعية يعجل هلاك الإنسان المتعرض لها، وسبب الهلاك في معظم الأحيان هو التأثيرات المذكورة أنفاً مجتمعة، ويعد هذا المجال من المواضيع المهمة للدراسة وذلك لمعرفة تأثيرات الإشعاع في الحرب النووية والحوادث النووية.

إن نخاع العظام وأجهزة صنع الدم الأخرى هي من أجزاء الجسم الحساسة جدًا للإشعاع، وهي تتأثر بجرعة في حدود ٥, ٠ إلى ١ جراي، ومن لطف العزيز القدير أن جعل لهذه الأجهزة القدرة على إصلاح التلف لتتعافى، هذا إذا لم تكن الجرعة كبيرة فحينئذ لا يبقى مجال للإصلاح، أما إذا تعرض جزء من الجسم فقط للإشعاع فإن الأجزاء الأخرى من نخاع العظام التي سلمت من إتلاف الإشعاع قد تقوم بتعويض التلف.

إن الأعضاء التناسلية والعين كذلك من الأعضاء الحساسة للإشعاع، فجرعة واحدة بحدود ١, ٠ جراي إلى الخصيتين جعلت بعض الرجال يصابون بالعقم لفترة مؤقتة، أما الجرع التي تزيد على ٢ جراي فيمكن أن تقود إلى عقم دائم، ويبدو أن الخصية هي الوحيدة من بين أعضاء الجسم التي تتأثر بالجرع المجزأة على فترات أكثر من تأثيرها بجرعة واحدة بنفس المقدار، وقد لا تستطيع الخصية التي تعرضت لجرعة إشعاعية شديدة أن تولد نطفاً بشكل كامل قبل مرور سنوات عديدة. أما المبيض عند النساء البالغات فهو أقل تأثراً بالإشعاع من الخصية عند الرجال، وتؤدي جرعة واحدة تزيد على ٣ جراي إلى العقم، ولكن يمكن التعرض لجرع أكبر مجزأة دون أن تؤدي إلى عرقلة الإنجاب.

وتعد عدسة العين من أكثر أجزاء الجسم تأثراً بالإشعاع، فبموت خلاياها تصبح معتمة، وبزيادة العتمة يمكن أن تفقد القدرة على الإبصار وتقود إلى العمى التام، ويزداد فقدان الإبصار بازدياد الجرعة الإشعاعية، أو بازدياد مدة التعرض للإشعاع ولو بجرعات قليلة نسبيًا. فالجرعة الواحدة بحدود ٢ جراي أو أقل يمكن أن تقود إلى عتمة في العين، ويحدث عتم أشد لعدسة العين في جرع تصل إلى ٥ جراي. والجرع من ٥, ٠ إلى ٢ جراي حين يتعرض لها بعض العاملين في مجال الإشعاع خلال ١٠ إلى ٢٠ سنة تزيد من كثافة وعتمة عدسة العين.

إن الأطفال هم كذلك أشد تأثراً بـالإشعاع من الكبار، فالجرع الصغيرة نسبيًّا لغضاريفهم قد تؤدي إلى بطء نمو عظامهم أو توقفه، وتقود إلى تشوهات خلقية عديدة، وكلما صغر عمر الطفل كلما كان التأثـر أشد. فجرعة كلية بحدود ١٠ جراي تعطى لطفل بشكل يومي على مدى عدة أسابيع تكفي لتقود إلى تشوهه. وقد لا تكـون هناك حـدود [أي عتبة] لهذا النوع من التأثير. وبـالمثل فإن تشعيع مخ الأطفـال خـلال العـلاج الإشعـاعي أدى إلى تغيرات في الصفـات وفقـدان للذاكـرة وشيء من العته والبـلاهة، بينما عظام ومـخ البالغين يمكن أن تتحمل جرعات أكبر من ذلك بكثير قبل أن تتعرض إلى شيء من ذلك.

والأجنة على وجـه الخصوص أشد عـرضة لتلف المخ إذا ما تعـرضت أمهاتهم للإشعاع بين الأسبوعين الثامن والخامس عشر من الحمل، وهذه هي الفترة التي تتكون فيهـا قشرة الدمـاغ، وهناك خطـورة كبيرة من أن تقود الأشعـة السينية إلى تخلف عقلي شديد، وقد تأثر حوالي ثلاثين جنيناً تعرضوا للإشعاع وهم في أرحام أمهاتهم عند تفجير قنبلتي هيروشيما ونجازاكي فولدوا متخلفين عقليًّا. وهذا هو أهم تأثير عرف على الجنين البشري، مع أنـه وجد العديـد من التأثيرات الأخرى في أجنة وأرحـام الحيوانـات المعرضـة للإشعـاع من ضمنهـا التشوهـات الخلقية وتأخر النمو والموت.

وتختلف مقـاومة خـلايـا البالغين لـلإشعـاع (انظـر شكل ٨ ـ ٢)، فـالكلى تتحمل حوالي ٢٣ جراي تعطى على مدى خمسة أسابيع دون حدوث ما يشير إلى تلف ملحـوظ. والكبـد يتحمل ٤٠ جـراي على الأقل تعطى خـلال أسبـوع، والمثانـة تتحمل على الأقل ٥٥ جراي تعطـى خلال أربعة أسـابيع، والغضروف البالغ يتحمل حتى ٧٠ جراي، والرئة من أعضـاء الجسم المعقدة وهي أكثر تأثراً بالإشعاع من غيرها، فهي مع رقتها قد يحدث في أوعيتها الدموية تغييرات كبرى عند تعرضها إلى الجرع المنخفضة نسبيًّا من الإشعاع.

والجرع العلاجية من الإشعاع مثلها مثل أي جرع إشعاعية ربما تولد ورماً سرطانيًّا بعد زمن، أو تؤدي إلى تأثيرات وراثية خطيرة، ولكنها تعطى عادة لمعالجة السرطان حيث الحياة المتوقعة للمريض قصيرة، والمرضى في العادة من كبار السن ولا يتوقع أن تكون لديهم الفرصة للإنجاب، لهذا فإن هذه الأخطار المتأخرة تعد مقبولة، في حين أن مخاطر إحداث هذه التأثيرات البعيدة المدى من الجرع الإشعاعية التي نواجهها عادة في حياتنا اليومية والتي تقل كثيراً عن الجرع العلاجية تشكل مصاعب كبيرة للعلماء، وخلافاً كبيراً بين عموم الناس.

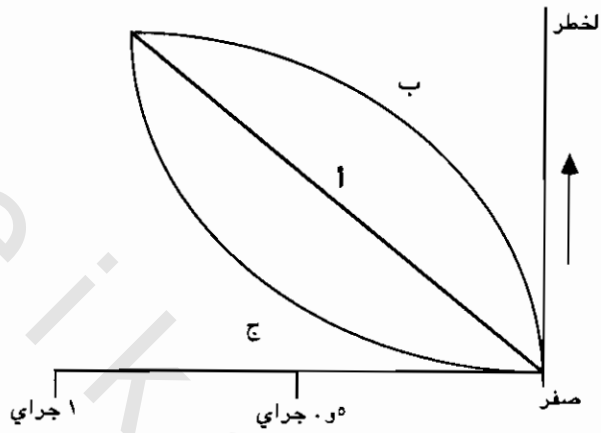
٨ - ٣ الإشعاع الذري والسرطان (١٠،٢٨):

إن مرض السرطان هو من أخطر الآثار المترتبة على التعرض المتكرر للجرع المنخفضة من الإشعاع، وقد أظهرت دراسة مستفيضة أجريت على نحو مائة ألف من اليابانيين الذين سبق لهم وأن تعرضوا للإشعاع من الذين نجوا من قنبلتي هيروشيما وناجازاكي عام ١٩٤٥م؛ أن السرطان كان السبب الوحيد في زيادة الوفيات بينهم منذ ذلك التاريخ وحتى الآن.

وتعتمد اليونسير بشكل كبير على الدراسات التي أجريت على الناجين من القنبلتين النوويتين في محاولتها لتقدير مخاطر السرطان، كما أنها تستخدم بحوثاً أخرى أجريت على معدلات السرطان في جزر المحيط الهادي الملوثة بالإشعاع نتيجة السقط الذري من التجارب النووية التي أجريت عام ١٩٥٤م، وكذلك على معدلات السرطان بين عمال مناجم اليورانيوم، وبين الناس الذين عرضوا لجرعات إشعاعية علاجية كبيرة نسبيًّا، ولكن تظل دراسات هيروشيما وناجازاكي هي الوحيدة التي تم تتبعها عن قرب لمدة تزيد على ثلاثين عاماً وشملت أعداداً كبيرة من الناس بجميع الأعمار تعرضت أجسامهم للإشعاع بشكل متجانس تقريباً.

ومع كل هذه الدراسات تبقى المعلومات حول توليد الإشعاع للسرطان في أجساد من يتعرضون له من بني البشر محدودة جدًّا، إلا أن هناك الآن كمية هائلة من المعلومات التجريبية عن تأثيرات الإشعاع على الحيوانات. ومع أن هذه المعلومات تساعد في تحديد تأثيرات الإشعاع على الإنسان إلا أنها لا يمكن أن تكون بديلاً للدلالة عما يحدث في الحقيقة للإنسان، ولعمل تقدير مقبول للمخاطر التي يواجهها الإنسان من الإشعاع ينبغي أن تتوافر للأدلة البشرية مجموعة من الشروط؛ منها: أن تكون الجرع المتعرض لها معلومة، وأن تكون موزعة بشكل متجانس على كل الجسم، أو على الأقل تكون الجرعة متجانسة على العضو قيد الدرس، كما ينبغي مراقبة السكان المتعرضين للإشعاع لعقود عديدة وذلك لإعطاء الوقت اللازم لجميع أنواع السرطان للظهور، وينبغي للتشخيص أن يكون شاملاً وجيداً بحيث يشخص جميع أنواع السرطان، ومن المهم كذلك أن يكون لدينا مجموعة ثابتة من السكان (للمقارنة) مشابهة في كل شيء - قدر المستطاع ــ للناس المتعرضين للإشعاع، الذين هم قيد الدرس إلا أنهم لم يتعرضوا للإشعاع، وذلك لمعرفة عدد السرطان الذي يظهر فيهم بغياب الإشعاع، كما أن كلا المجموعتين من الناس ينبغي أن تكون كبيرة بشكل كاف لتسمح باستنتاجات إحصائية.

ومن الجدير بالذكر أن ما توافر من أدلة بشرية حتى يومنا هذا هي لأناس تعرضت أنسجتهم لجرع إشعاعية عالية نسبيًّا بمقدار جراي واحد أو أكثر، بينما لم يتوافر إلا القليل من المعلومات حول تأثير معدلات الجرع التي يتعرض لها العاملون في مجال الإشعاع أثناء العمل، ولا توجد معلومات مباشرة حول تأثير التعرضات التي تحدث عادة لعموم السكان، ولهذا فليس هناك بد من محاولة استقراء أخطار الجرع الإشعاعية المنخفضة من المعلومات المعروفة عن أخطار الجرع المرتفعة مهما قلت.



الجـــرعة

شكل (٨ - ٤) الجرع الإشعاعية والتأثيرات (٢٨)

ازدياد الخطر مع زيادة الجرع الإشعاعية: نحن نعلم الخطر التقريبي لنشوء السرطان نتيجة جرعة إشعاعية تبلغ جراي واحد من دراسة الناجين من تفجير القنبلة الذرية وغيرهم ممن تعرضوا للإشعاع، وينعدم الخطر عند عدم التعرض للإشعاع (إن كان ممكناً) ولكننا لا نعرف إلا القليل عن تأثيرات الجرع المتوسطة الأقل من واحد جراي. لذا ينبغي علينا استنباط مخاطر الجرع المنخفضة قياساً على مخاطر الجرع المرتفعة.

واليونسير ـ مثلها مثل باقي الهيئات العاملة في مجال الإشعاع ـ قامت بوضع فرضيتين أساسيتين تؤيدها بشكل عام الأدلة المتوافرة، وأولى هاتين الفرضيتين هي أنه ليس هناك عتبة آمنة لا تحمل خطر السرطان، أي إن أية جرعة مهما صغرت تزيد من احتمال إصابة المتعرضين لها بالسرطان. وكل جرعة إضافية ستزيد من هذا الاحتمال أكثر فأكثر. أما الفرضية الثانية فهي أن الخطر يزداد

طرديًا مع مقدار الجرعة، أي إن أية مضاعفة للجرعة تضاعف من احتمال حدوث السرطان ومضاعفة الجرعة ثلاثة أضعاف تزيد الاحتمال ثلاث مرات وهلم جرا (شكل ٨ - ٤).

يبين الشكل (٨ - ٤) ثلاثة طرق في تقدير مخاطر الإشعاع في المدى الأقل من جرعة الجراي الواحد، على افتراض عدم وجود عتبة آمنة كما تفترض اليونسير وغيرها من الهيئات المختصة، لذا فإن أية زيادة في الجرعة تزيد احتمال حالات نشوء السرطان مهما قلت. العلاقة (أ) خط مستقيم يفترض أن الخطر يزداد طرداً مع ازدياد الجرعة، و (ب) منحنى محدب يفترض أن الخطر يزداد بشكل كبير في الجرع المنخفضة ثم تقل زيادة الخطر مع ازدياد الجرعة، أما (ج) فهو منحنى مقعر يفترض أن الخطر يزداد ببطء عند الجرع المنخفضة، ثم يزداد بشكل كبير عند الجرع المرتفعة.

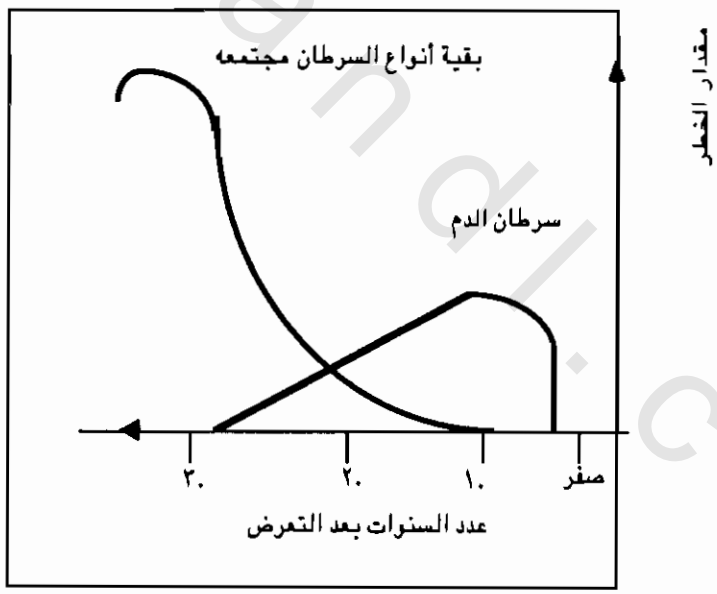
إن اليونسير مثلها مثل غيرها من الهيئات المختصة في مجال تأثيرات الإشعاع تفترض أن زيادة خطر الإشعاع يتبع علاقة خطية (أ). وتعتقد اليونسير أنه ربما كان هذا افتراضاً متحفظاً، أي إنه قد يزيد من تقدير مخاطر الجرع المنخفضة. ومن شبه المؤكد أن هذا الافتراض لا يقلل من تقدير مخاطر هذه الجرع، ومع الاعتراف بعدم دقة هذا الافتراض إلا أنه ملائم في الوصول إلى تقدير تقريبي لأخطار مختلف أنواع السرطان.

ويبدو أن سرطان الدم هو أول أنواع السرطان الذي يظهر في السكان بعد التعرض للإشعاع (شكل ٨ - ٥) ويحدث الهلاك به في المتوسط بعد عشر سنوات من حدوث التلف الأولي، وهذه المدة هي أقل بكثير من متوسط زمن الهلاك الناتج عن أنواع السرطان الأخرى.

إن عدد الوفيات بسبب سرطان الدم بين الناجين من آثار قنبلتي هيروشيما وناجازاكي انخفض بشكل حاد بعد عام ١٩٧٠م، ويبدو كما لو أن ضريبة

الحادثتين من هذا المرض قد استكملت تقريباً، ولهذا يمكن تقييم خطر الموت بسرطان الدم بدقة أكثر من تقييم أخطار السرطانات الأخرى، وتقدر اليونسير أن شخصين من بين كل ألف شخص ربما يموت بسرطان الدم لكل جراي يتعرضون له، أو بعبارة أخرى: إذا تعرض النخاع في عظام شخص ما إلى جرعة واحد جراي فهناك فرصة واحدة من خمس مائة بأنه سيموت بسرطان الدم نتيجة الجرعة الإشعاعية، سواءً كان ذكراً أم أنثى.

يبدو أن سرطان الثدي والغدة الدرقية هما كذلك من نتائج التعرض للإشعاع الأكثر شيوعاً، وتقدر اليونسير أن عشرة أشخاص من بين كل ألف سيصابون بسرطان الدرقية وعشرة نسوة في كل ألف سيصابون بسرطان الثدي لكل جراي من التعرض، ولكن كلا السرطانين يمكن الشفاء منهما عموماً، فنسبة الوفيات بسرطان الغدة الدرقية المتسبب بالإشعاع على وجه الخصوص منخفضة، لذا



شكل (٨ - ٥) الخطر الضئيل لنشوء السرطان بسبب جرعة واحدة متجانسة لكل الجسم وقدرها ١,٠ جراي، ويبين الزمن التقريبي لظهور سرطان الدم على حدة وبقية أنواع السرطان مجتمعة (٢٨).

يحتمل أن يموت حوالي خمسة نسوة في كل ألف بسبب سرطان الثدي للجراي الواحد، ويتوقع هلاك واحد في الألف بسرطان الدرقية.

وعلى النقيض من ذلك فإن الموت بسرطان الرئة مؤكد، وهو كذلك من أنواع السرطان الشائعة في الأشخاص المتعرضين للإشعاع، ولقد برزت معلومات معدلات سرطان الرئة بين عمال مناجم اليورانيوم في كندا وجوكسلوفاكيا والولايات المتحدة الأمريكية مكملة للمعلومات المجمعة من هيروشيما ونجازاكي. والغريب في الأمر أن المعلومات من هذين المصدرين متناقضة حتى عند الأنواع المختلفة من الإشعاع التي تعرض لها في المصدرين، ويبدو أن عمال مناجم اليورانيوم أكثر عرضة للإصابة بالسرطان بمقدار أربعة إلى سبعة أضعاف من الناجين من القنبلة الذرية لكل وحدة جرعة، وقد وضعت اليونسير عدة أسباب لهذا التباين في المعلومات، منها أن عمال المناجم هم عموماً أكبر سنًّا كقطاع من البشر من السكان اليابانيين في وقت التعرض الإشعاعي، وهذا يشير إلى أنه ربما يموت خمسة أشخاص من كل ألف شخص من سن ٣٥ سنة فما فوق بسرطان الرئة لكل جراي، ولكن ربما يموت نصف هذا العدد في سكان يمثلون جميع الأعمار. إن الرقم الأعلى من الهلاك السالف الذكر يقع في الطرف المنخفض من المدى الذي تشير إليه دراسة عمال المناجم.

يبدو أن أنواع السرطان الأخرى هي الأقل احتمالاً في التولد عن الإشعاع، وتقدر اليونسير أن شخصاً واحداً في كل ألف يحتمل أن يهلك بسرطان المعدة أو الكبد أو الأمعاء الغليظة لكل جراي، أما سرطانات العظام والأمعاء الدقيقة والمثانة والبنكرياس والقولون والأنسجة اللمفاوية فإنها تشكل خطراً أقل من سابقتها، وربما بحدود حوالي ٠,٢ أو ٠,٥ في الألف لكل جراي.

وكما سبق أن أشرنا فإن الأطفال أكثر تأثراً بالإشعاع من البالغين، والأجنة في الأرحام أكثر تأثراً من الأطفال. وقد أظهرت بعض الدراسات ازدياد احتمال

هـلاك الأطفـال بالسرطـان إذا أخـذت لأمهـاتهم أشعة سينيـة خـلال الحمل، واليونسير ليسـت مقتنعة بعد بثبـوت السبب والتأثير، إذ لم تثبت زيـادة حالات حدوث السرطـان في ذرية اليابـانيين الذين تعـرضوا للإشعـاع الناتج عن تفجير قنبلتي هيروشيما وناجازاكي.

هذا وقد أظهرت نتائج اليـابانيين حوادث أقل بكثير في كل من سرطان الثدي والـدرقية من النتـائج المستقاة من المصـادر الأخـرى، وعملاً بـالأحوط أخـذت اليونسير الأرقـام الأكبر في تقديـراتها. وتصور هـذه الفروق الصعـوبة في تقـدير مخاطر الجرع المنخفضة من الأدلة الشخصية في الجرع المرتفعة، كما أن عدم الدقة في تقـدير الجرع التـي تعرض لها النـاجـون من القنبلتين الذريتين يجعـل تقديـر المخاطر أشد صعـوبة، ولقد برزت أدلة جديدة جعلت الحسـابات القديمة محل شك، والموضوع بأكمله يعاد النظر فيه في الوقت الحاضر.

ويـدور اليـوم كثير من الجدل حـول مقـدار الخطـر النـاتج من المستـويـات المنخفضـة من الجرع الإشعـاعية، ولا تـزال هنـاك الحاجـة إلى بحوث أخـرى، وخصوصـاً دراسة الناس المعرضين لمستـويات منخفضة من الإشعاع بحـدود ما يواجـه عادة في العمل وفي الطبيعة. وكلما انخفضت الجرعة صعب معهـا إجراء بحث مفيد. ويقـدر أنه إذا لم تكن تقديـرات اليونسير بعيـدة كثيراً عن الواقع، فإن دراسـة مستفيضة للعـاملين بالمجـال النـووي المتعرضين لأكثـر من ٠,٠١ جراي بـالسنة يتطلب تغطيـة عدة ملايين مـن الأشخاص بالسنـة لتتاح فـرصة للخروج بنتـائج ذات بال عن عـلاقة التعرض لجرع مـرتفعة نسبيًّـا من الإشعاع بالإصابة بمختلف أنواع الأورام السرطانية.

وهناك مواضيع أشد تعقيـداً تتطلب البحث فمثلاً يمكن للإشعاع من حيث المبدأ التفاعل مع الكيماويـات الأخرى ومع العوامل الأحيائية مـؤدياً إلى زيادة أو نقص معـدلات نمـو السرطـان، وهـذا مـن المواضيع المهمـة، وبخـاصـة وأن

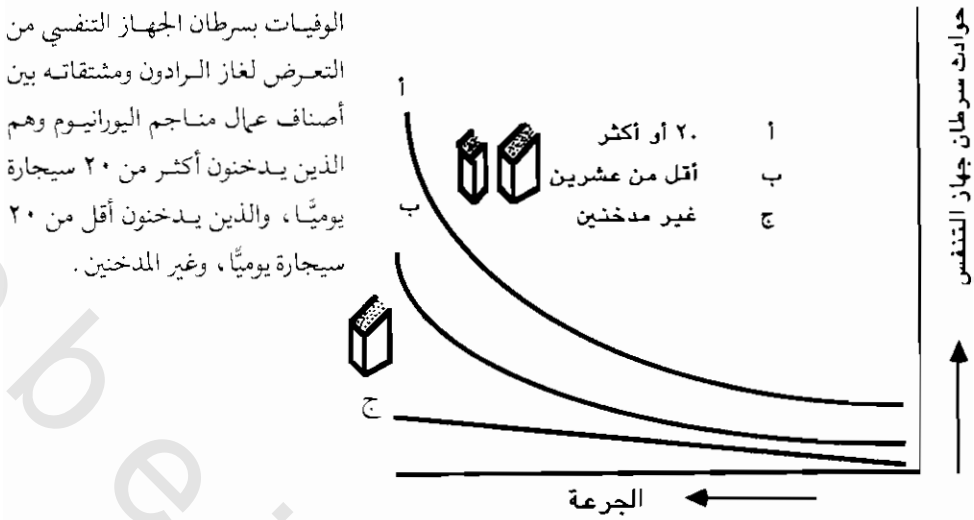
الإشعاع موجود في جميع الأمكنة والأزمنة، ولأن هناك العديد من العوامل في حياتنا العصرية يمكنها التفاعل مع الإشعاع، فلقد أجرت اليونسير تحليلاً أوليًا للمعلومات حول العديد من تلك العوامل وخرجت بعدة شكوك منها أن هناك أدلة قوية على أحد العوامل وهو دخان التبغ حيث يبدو مؤكداً أن السرطان يظهر في المدخنين من عمال المناجم أسرع من غيرهم (شكل ٨ - ٦)، أما بالنسبة للعوامل الأخرى فإن المعلومات لا تزال قليلة جدًّا وتتطلب ملاحظات أكثر.

ولقد كانت هناك فروض قديمة بأن التعرض للإشعاع قد يعجل من ظهور علامات الشيخوخة المبكرة. وقد راجعت اليونسير المعلومات المتاحة حول هذه الفرضية ولم تستطع الحصول على أدلة كافية لتأكيد ذلك في أي من الإنسان أو الحيوان في ظل التعرضات الإشعاعية القليلة إلى المتوسطة. إن الشعوب المتعرضة للإشعاع لها معدل عمر أقصر، ولكن سبب قصر العمر هذا هو إصابة بعض أفراده بالسرطان وليس عن الإشعاع بشكل مباشر.

٨ - ٤ التأثيرات الوراثية للإشعاع الذري (١٠،٢٨):

إن التأثيرات الوراثية التي يحدثها تعرض الكائنات الحية للإشعاع الذري هي من أصعب الأمور في دراستها، أولاً لندرة المعلومات حول نوع التلف الوراثي الذي يحدثه الإشعاع، وثانياً لأن السجل الكامل للتأثيرات الوراثية يستغرق عدة أجيال لتظهر، وثالثاً لأن هذه التأثيرات ـ مثلها مثل السرطان ـ لا يمكن تمييزها من التأثيرات التي تحدثها المسببات الأخرى.

وتشير الإحصائيات المنشورة إلى أن حوالي ١٠٪ من جميع المواليد الذين يبقون على قيد الحياة يعانون أحد أنواع العيوب الوراثية (شكل ٨ - ٧) وهي تتراوح بين الأمراض غير الحادة، مثل عمى الألوان إلى الإعاقات الشديدة مثل مرض المغولية وما يشبهه من الأمراض التي يصاحبها عدد من التشوهات الحادة. هذا



شكل (٨ - ٦) التدخين والإشعاع (٢٨، ١٠)

غير أن الأجنة التي تعاني خللاً وراثيًا شديداً لا يكتب لها الحياة، فقد قدر أن خمسين بالمئة من أجنة الإجهاض الآني تقريباً تعاني خللاً وراثيًا، وحتى لو قدر لهذا الجنين أن يعيش إلى الولادة فإنه معرض للهلاك بعد ذلك بقليل؛ لأن احتمال هلاك الأطفال الذين يعانون عيوباً وراثية خلال عامهم الأول يزيد خمسة أضعاف على احتمال الأطفال الطبيعيين.

وتقسم التأثيرات الوراثية إلى مجموعتين رئيسيتين المجموعة الأولى هي انحرافات المورثات [أو الصبغيات أو الكروموسومات] وتشمل التغيرات في عددها أو في تركيبها، أما المجموعة الأخرى فهي الطفرات الوراثية التي تحدث في ذات الجينات وتسمى بالطفرات الجينية. وتنقسم هذه الأخيرة بدورها إلى طفرات متغلبة وهي التي تظهر في ذرية من حصلت لهم هذه الطفرات مباشرة

obeikandl.com

والطفرات المتنحية وهي التي لا تظهر مباشرة وإنما تتنحى لتظهر في ذرية زوجين عندهما طفرة جينية متماثلة، و قد تبقى هذه الطفرة في سبات لعدة أجيال أو إلى الأبد. وكلا هذين النوعين من التأثيرات يمكن أن يحدث أمراضاً وراثية في الأجيال التالية. ويركز تقرير اليونسير على التأثيرات الوراثية الحادة فقط.

لقد وجدت طفرتان محتملتان فقط بين سبعة آلاف طفل ولدوا لآباء وأمهات تعرضوا إلى جرع من الإشعاع مرتفعة نسبيًّا في انفجاري هيروشيما وناجازاكي، ولم يظهر أي من هذين التأثيرين في نفس العدد تقريباً من ذرية أناس تعرضوا لجرع إشعاعية أقل. كما أن الدراسات لم تظهر زيادة ملحوظة في حوادث إنحرافات الموروثات في الأطفال الذين تعرض آباؤهم وأمهاتهم لإشعاع القنبلتين، مع أن بعض الإحصاءات تشير إلى ازدياد احتمال ولادة أطفال مصابين بمرض المغولية في ذرية المتعرضين للإشعاع.

ومن الأدلة المثيرة ما يشير إلى أن الناس المعرضين إلى الجرع المنخفضة من الإشعاع يحدث لهم تلف ملحوظ في مورثات خلايا الدم، فقد شوهد هذا التلف في أناس تعرضوا لجرع منخفضة من الإشعاع ممن يعيشون في مدينة بدقستين[1] النمساوية، أو ممن يعملون في عدد من ينابيع الماء الحار المشع الموجودة في هذه المدينة، وكذلك لوحظ هذا التلف في عمال يعملون في المجال النووي تعرضوا إلى جرع أقل من الحدود الدولية المسموح بها في كل من ألمانيا الغربية وإنجلترا وأمريكا، ولكن لم تثبت بعد العواقب الصحية لمثل هذا التلف.

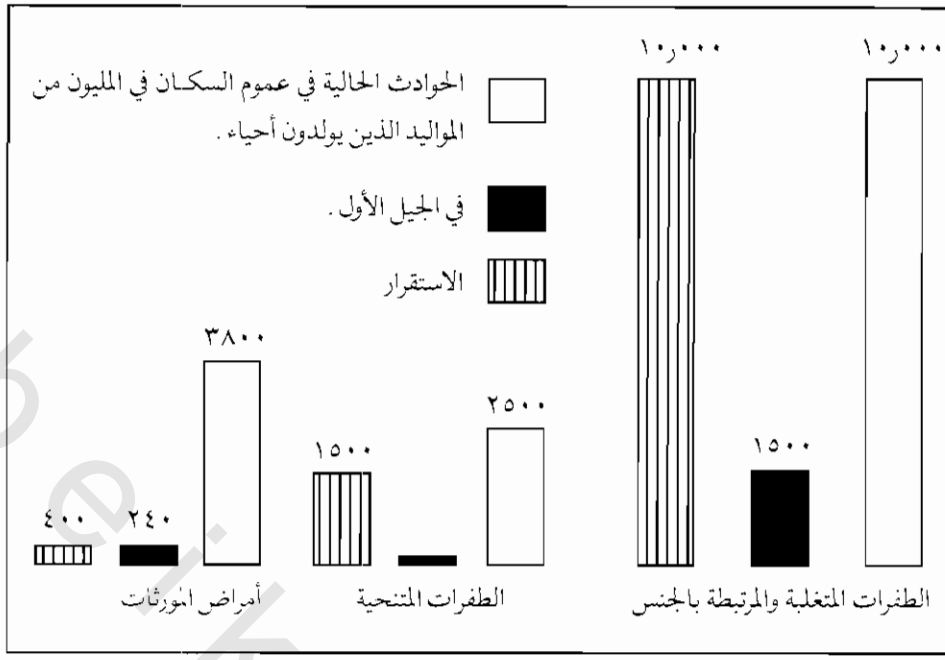
---

(١) بدقستين مدينة في النمسا تحوي العديد من ينابيع المياه المعدنية الحارة الحاوية على مستويات عالية جدًّا من غاز الرادون المشع، ويبلغ معدل تركيز الرادون فيها ١,٥ مليون بيكربل بالمتر المكعب في حين أن تركيز الرادون في الماء عادة لا يزيد على ٤٠٠ بيكريل/ م٣.

وفي غياب المعلومات الأساسية في هذا المضمار فقد كان تقدير مخاطر التأثيرات الوراثية في الإنسان عند تعرضه لجرعات من الإشعاع مبنيًّا على الدراسات المستفيضة التي أجريت على الحيوانات، وقد استخدمت اليونسير طريقتين في تقدير ذلك: الطريقة الأولى تركز مباشرة على تحديد مقدار التلف الذي تحدثه الجرعة المحددة من الإشعاع، أما الطريقة الثانية فهي تحاول معرفة الجرعة اللازمة لمضاعفة أعداد الأطفال الذين يولدون بأحد العيوب الوراثية المختلفة.

وقد قدرت الطريقة الأولى أن تعرض الذكور لجرعة إشعاعية مقدارها جراي واحد من المستويات المنخفضة من الإشعاع يؤدي إلى ما بين ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ طفرة وراثية شديدة، وإلى ما بين ٣٠ إلى ١٠٠٠ خلل شديد بسبب انحرافات المورثات (الكروموسومات) في كل مليون مولود.

وكانت تقديرات الطريقة الثانيةَ أن التعرض الدائم لجرعة إشعاعية قدرها جراي واحد في الجيل (٣٠ سنة تقريباً) يولد حوالي ٢٠٠٠ في المليون من الأمراض الوراثية الشديدة في ذرية المتعرضين للإشعاع، كما بذلت محاولات لتقدير المجموع الكلي للعيوب التي ستظهر في جميع الأجيال إذا استمر معدل التعرض ثابتاً فكانت التقديرات النهائية أنه سيستمر إنجاب ١٥٠٠ طفل مصاب بمرض شديد في كل مليون وليد، وذلك بسبب هذا التعرض (شكل٨-٧).



شكل (٨ – ٧) التأثيرات الوراثية للإشعاع : التأثيرات الوراثية الحادة في المليون من المواليد الذين يولدون أحياء نتيجة التعرض لجراي واحد للجيل (٤) .

ولقد حاولت هذه الطريقة الثانية أيضاً أن تشمل تأثيرات الطفرات المتنحية والتي لا يعرف عنها الكثير، وإن كان يعتقد أن مشاركتها ثانوية لأن احتمال زواج اثنين عندهما نفس التلف الجيني هو احتمال ضعيف . ونظراً لقلة المعلومات حول تأثير الإشعاع على الصفات الوراثية التي تحددها عدة جينات مجتمعة مثل الطول والإخصاب فقد تركز تقدير اليونسير على تأثير الإشعاع على الصفات التي تحدد بجين واحد .

ومن المآخذ على طريقتي التقدير الآنفتي الذكر أنهما عالجتا التأثيرات الوراثية الخطيرة فقط ، بينما تشير الأدلة بجلاء إلى أن تأثيرات العيوب الثانوية تزيد كثيراً على التأثيرات الخطيرة بحيث إنها قد تسبب ضرراً أكبر في عموم الناس .

وقد قامت اليونسير بأول محاولة لتقدير وقع العيوب الوراثية على الإنسان كما جاء في أحدث تقرير لها، فحاولت تقييم الأذى الناتج من الأنواع المختلفة من العيوب. فمثلاً إن كلا من مرض المغولية والمرض المسمى (هانتكتن كوريا) هي من الأمراض الجينية الخطيرة ولكن وقعها مختلف، فالهانتكتن كوريا تصيب في الفترة بين العقد الثالث والخامس من العمر وتؤدي إلى تدهور تدريجي شديد جدًا في الجهاز العصبي المركزي في حين أن المغولية تسبب مشاكل خطيرة جدًا من لحظة الولادة، ويتضح من هذا التمييز أن وقع المغولية أكبر.

كذلك حاولت اليونسير تقييم تأثيرات الأمراض الوراثية بحساب عدد سنوات العجز والخسارة في الحياة، وهذا طبعاً لا يضع في الحسبان بشكل كاف معاناة المصابين، كما لا يمكن أبداً أن يضع في الحسبان عوامل أخرى مثل معاناة الوالدين الذين يولد لهما طفل مصاب، فهذه العوامل النفسية يستحيل تقديرها على كل حال، ومع إدراك اليونسير بأنها تعمل أول محاولة فجة في هذا المضمار فقد قدرت في تقديرها الأول أن الجراي الواحد من التعرض الثابت للإشعاع في كل جيل يمكن أن تؤدي إلى ٥٠,٠٠٠ سنة من العجز، و ٥٠,٠٠٠ سنة أخرى من الخسارة في الحياة لكل مليون مولود في أولاد الجيل من المتعرضين للإشعاع، وتقود في النهاية إلى ما مجموعه ٣٤٠,٠٠٠ سنة من العجز في الحياة، وإلى ٢٨٦,٠٠٠ سنة خسارة في الحياة في المليون من المواليد الذين يبقون على قيد الحياة.

وخلاصة القول أنّ مختلف أنواع الآثار التي يتركها الإشعاع الذري على الكائنات الحية قد خضعت لدراسات مستفيضة لسنوات عديدة، وبالرغم من ذلك فإن التقدير الكمي للضرر الناتج عن تعرض البشر للجرع الإشعاعية صعب جدًا وخصوصاً في حالة الجرع الإشعاعية المنخفضة، وحتى في حالة الجرع الإشعاعية المرتفعة فإن المعلومات لا تزال غير مؤكدة، وعلى ذلك فإن

الاتجاه العالمي العام هو خفض الجرع الإشعاعية والتي يعتقد أنها تشكل خطورة على البشر، وهذا ما تعكسه التشريعات المتعلقة بحماية العاملين بالإشعاع والناس جميعاً من تأثيرات الإشعاع الذري.

٨ - ٥ العوامل المؤثرة على تلف الخلايا [١]:

إنّ من الأسباب الرئيسة التي دفعت إلى التركيز على دراسة تأثير الإشعاع الذري على الخلايا الحية هو استخدام هذا الإشعاع في علاج الأورام السرطانية، حيث وجد أن تلك الخلايا أكثر تأثراً بالإشعاع من مثيلاتها من الخلايا الصحيحة في معظم الأمراض السرطانية الشائعة، نظراً لكونها في انقسام دائم، ومن المعلوم أن الخلية في حالة الانقسام هي عموماً أكثر تأثراً بالإشعاع منها في غير حالة الانقسام. ومن العوامل المؤثرة على تلف الخلايا بالإشعاع الذري ما يلي:

١ - الأوكسجين.

٢ - الحرارة.

٣ - الماء.

٤ - المواد الكيميائية (ومنها ما يزيد حساسية الخلية الحية للإشعاع ومنها ما يزيد من مناعتها ضد الإشعاع).

٥ - حالة الخلية.

إن دراسة تأثير هذه العوامل تتم عادة على خلايا مستنبتة لإنسان أو حيوان، توضع تحت أحد هذه العوامل وتعرض للإشعاع ثم يدرس مدى تأثرها به تحت تلك الظروف.

فلقد وجد أنّ للأوكسجين تأثيراً واضحاً في زيادة حساسية الخلايا للإشعاع وخصوصاً إذا كان من النوع ذي التوضّع الخطي المنخفض كالأشعة السينية،

جدول (٨ – ١) العوامل المؤثرة على حساسية خلايا الثدييات للإشعاع الذري

تقليل التلف	زيادة التلف
فقدان الأوكسيجين	وجود الأوكسجين
وجود بعض الكيميائيات	وجود بعض الكيميائيات لزيادة الحساسية
(العوامل الواقية)	وجود الماء
فقدان الماء	ارتفاع درجة الحرارة (٤٣°م)
حالة الخلية :	حالة الخلية :
– الخلية في حالة سكون	– الخلية في مرحلة تركيب الـ DNA
– عمليات إصلاح الـ DNA نشطة	– عمليات إصلاح الـ DNA غير نشطة أو معدومة

ويقل هذا التأثير مع زيادة التوضّع الخطي لطاقة الإشعاع [انظر شكل (٢ – ١) و(٢ – ٢)]. وعلى ذلك فإن استخدام الإشعاع ذي التوضّع الخطي المرتفع – كالنيوترونات مثلاً – في علاج الأورام السرطانية له مزية أنه يقلل من احتمال نجاة خلايا الورم السرطاني التي تعاني نقصاً في التغذية والأوكسجين، وبهذا يمنع نمو الورم السرطاني ثانية.

كذلك فقد وجد أن الحرارة المرتفعة عن حرارة الجسم الاعتيادية وهي ٣٧° م (خصوصاً بين ٤٢° م و٤٣°م) لها تأثير على إتلاف الخلايا، ويزداد هذا التأثير مع زيادة درجة الحرارة، وزيادة مدة التعرض لها، وانطلاقاً من ذلك فقد استخدمت الحرارة في الماضي وعلى نطاق ضيق لعلاج بعض الأورام السرطانية، وتجري بحوث كثيرة حول هذه الطريقة في الوقت الحاضر لاستخدامها وحدها، أو مع طريقة أخرى مثل طريقة الإشعاع لعلاج الأورام السرطانية.

بالإضافة إلى العاملين السابقين فقد وجد أن للماء الذي في الخلية تأثيراً على حساسيتها للإشعاع وبخاصة الإشعاع «منخفض التوضع الخطي» كأشعة جاما، وذلك لأن معظم تأثير هذا الإشعاع غير مباشر (انظر مبحث ٢ – ٣) إذ

يعتمد بصورة رئيسة على إنتاج الجذور الحرة، حيث إن الماء من مصادر إنتاج الجذور الحرة مثل $H^{\bullet}$ و $OH^{\bullet}$ وكذلك فوق أوكسيد الهيدروجين (H_2O_2).

هذا وتجرى في الوقت الحاضر أيضاً محاولات لزيادة حساسية الخلايا السرطانية للإشعاع من أجل قتلها بأقل جرعة إشعاعية ممكنة، وذلك باستخدام بعض العوامل الكيميائية من مثل الأوكسجين، وغيره من المواد الكيميائية البسيطة ومركباتها، وذلك لوجود علاقة بين المواد الكيميائية والإشعاع.

إنّ معظم خلايا الجسم في انقسام دائم، لذا فإنها تمر بمراحل انقسام وسكون خلال هذه العملية الحيوية، وقد وجد - عموماً - أن الخلية في مرحلة الانقسام أو في المرحلة القريبة منها أشد تأثراً بالإشعاع من مرحلة السكون حيث تزداد مقاومة الخلية للإشعاع بصورة كبيرة.