



الأمم المتحدة

تقرير

لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري

الجمعية العامة

الوثائق الرسمية: الدورة الثامنة والأربعون

الملحق رقم ٤٥ (A/48/46)

تقرير لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري

الجمعية العامة
الوثائق الرسمية: الدورة الثامنة والأربعون
الملحق رقم ٤٥ (A/48/46)



الأمم المتحدة. نيويورك، ١٩٩٤

ملاحظة

تتألف رموز وثائق الأمم المتحدة من حروف وأرقام،
ويعني إيراد أحد هذه الرموز الإحالة إلى إحدى وثائق
الأمم المتحدة

المحتويات (تابع)

الصفحة	الفقرات	
١	٩ - ١	مقدمة
٢	٦٤ - ١٠	الآثار البيولوجية للاشعاع المؤين
٤	٤٩ - ١٧	ألف - البيولوجيا الاشعاعية
٤	٢٦ - ١٧	١ - هدف الفعل الاشعاعي
٦	٤٩ - ٢٧	٢ - آثار التغيرات المستحثة في الراموز الوراثي الخلوي
١٠	٦٤ - ٥٠	باء - علم الأوبئة
١٤	١١١ - ٦٥	ثالثا - التقديرات الكمية لآثار الاشعاع
١٤	٧٨ - ٦٥	ألف - الكميات والوحدات
١٤	٧٢ - ٦٦	١ - قياس كميات الجرعات
١٦	٧٨ - ٧٣	٢ - الخطورة والضرر
١٧	١١١ - ٧٩	باء - الآثار التي تصيب الانسان
١٨	٩٥ - ٨٢	١ - الآثار القطعية
٢٠	١٠٧ - ٩٦	٢ - السرطان المستحث بالاشعاع
٢٣	١١١ - ١٠٨	٣ - الآثار الوراثية
٢٣	١٧٤ - ١١٢	رابعا - مصادر التعرض للاشعاع
٢٣	١١٧ - ١١٢	ألف - أساس المقارنات
٢٥	١٧٤ - ١١٨	باء - مستويات التعرض
٢٥	١٢٠ - ١١٨	١ - التعرضات المتأتية من المصادر الطبيعية
٢٦	١٣٤ - ١٢١	٢ - التعرضات الطبية
٢٩	١٤٠ - ١٣٥	٣ - التعرضات المتأتية من التفجيرات النووية ومن انتاج الأسلحة النووية
٣١	١٤٦ - ١٤١	٤ - التعرضات الناجمة عن انتاج الطاقة الكهربائية النووية
٣٣	١٥٦ - ١٤٧	٥ - تعرض الجمهور للاشعاع نتيجة للحوادث الكبرى
٣٥	١٦٩ - ١٥٧	٦ - حالات التعرض المهني
٣٩	١٧٤ - ١٧٠	٧ - ملخص المعلومات الحالية
٤١	١٨٠ - ١٧٥	خامسا - ادراك مخاطر الاشعاع
٤٢	١٨٩ - ١٨١	سادسا - الملخص والمنظورات
٤٢	١٨٣ - ١٨١	ألف - مستويات التعرض
٤٣	١٨٦ - ١٨٤	باء - الآثار البيولوجية
٤٣	١٨٩ - ١٨٧	جيم - المنظورات

المحتويات (تابع)

<u>الصفحة</u>	<u>الفقرات</u>
---------------	----------------

التذييلات

- | | |
|----|---|
| ٤٦ | الاول - قائمة بأعضاء الوفود الوطنية الذين حضروا دورات اللجنة من الثامنة والثلاثين الى الثانية والأربعين . . . |
| ٤٨ | الثاني - قائمة بأسماء الموظفين العلميين والخبراء الاستشاريين الذين تعاونوا مع اللجنة في اعداد هذا التقرير . . |

أولا - مقدمة

١ - تقدم لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري^(١) الى الجمعية العامة^(٢) ومن ثم الأوساط العلمية والمجتمع الدولي، آخر تقييماتها لمصادر الإشعاع المؤين وآثار التعرض له. وهذا هو التقرير الحادي عشر في سلسلة التقارير الصادرة عن اللجنة منذ أن بدأت عملها عام ١٩٥٥. والهدفان الرئيسيان لعمل اللجنة هما تقدير عواقب مجموعة واسعة من جرعات الإشعاع المؤين على صحة الانسان وتقدير الجرعة التي يتعرض لها الناس في كافة أنحاء العالم من مصادر الإشعاع الطبيعية والاصطناعية.

٢ - وقد أعد هذا التقرير ومرفقاته العلمية (انظر الفقرة ٩)^(٣) بين دورتي اللجنة الثامنة والثلاثين والثانية والأربعين. وكان تطوير مادة التقرير في الدورات السنوية للجنة يتم على أساس ورقات عمل تتولى إعدادها الأمانة وتعديل وتنقح من دورة الى أخرى لكي تجسد آراء اللجنة. ويستند التقرير بشكل رئيسي الى البيانات التي قدمتها الدول الأعضاء حتى نهاية عام ١٩٨٩. وقد استخدمت معلومات أحدث في تفسير هذه البيانات.

٣ - ومناصب الرئيس ونائب الرئيس والمقرر في الدورات شغلها، على التوالي، أعضاء اللجنة التالية اسماؤهم: الدورتان الثامنة والثلاثون والتاسعة والثلاثون: ك. لوكان (استراليا) و ج. ميسين (بلجيكا) و أ. ليتورنو (كندا)؛ الدورتان الأربعون والحادية والأربعون: ج. ميسين (بلجيكا) و أ. ليتورنو (كندا) و ل. بينيلوس آشتون (بيرو)؛ الدورة الثانية والأربعون: أ. ليتورنو (كندا) و ل. بينيلوس آشتون (بيرو) و ج. بينغتون (السويد). وترد في المرفق الأول لهذا التقرير أسماء الخبراء الذين حضروا دورات اللجنة من الثامنة والثلاثين الى الثانية والأربعين بوصفهم أعضاء في وفود بلدانهم.

٤ - وتود اللجنة، وهي تعتمد هذا التقرير وتحمل بالتالي كامل المسؤولية عن مضمونه، أن تعرب عن امتنانها لما قدمه فريق من الخبراء الاستشاريين من مساعدة ومشورة. فقد ساعد هؤلاء الخبراء الاستشاريون، الذين عينهم الأمين العام والواردة أسماؤهم في المرفق الثاني لهذا التقرير، على إعداد النص والمرفقات العلمية، وكانوا مسؤولين عن الاستعراض والتقييم الأوليين للمعلومات التقنية التي تلقتها اللجنة أو توفرت في المؤلفات العلمية المتاحة للجميع، والتي استندت اليها اللجنة في مداولاتها النهائية.

٥ - وقد حضر دورات اللجنة التي عقدت خلال الفترة المستعرضة ممثلو برنامج الأمم المتحدة للبيئة ومنظمة الصحة العالمية والوكالة الدولية للطاقة الذرية واللجنة الدولية للحماية من الاشعاع واللجنة الدولية المعنية بوحدة الإشعاع وقياساته. وتود اللجنة أن تعرب عن تقديرها لإسهام أولئك الممثلين في المناقشات.

٦ - وفي هذا التقرير، تلخص اللجنة الاستنتاجات الرئيسية الواردة في المرفقات العلمية. وهذه النتائج تستند الى التقارير السابقة للجنة الأمم المتحدة المعنية بآثار الإشعاع الذري وتأخذ في الاعتبار ما توفر من ذلك الحين من معلومات علمية. وقد أدرج في تقرير اللجنة لعام ١٩٨٨ استعراض تاريخي رئيسي لأعمال اللجنة، شمل تطور المفاهيم والتقييمات. وهذا التقرير يتضمن مقدمة عامة عن الآثار البيولوجية للاشعاع المؤين، تقوم على الفهم الحالي لهذه المسألة (الفصل الأول). ومن أجل قياس الآثار البيولوجية للاشعاع قياسا كيميا وتحديد حالات التعرض للاشعاع التي تسببها، يلزم فهم كميات الاشعاع ووحداته، (انظر الفصل الثاني، الفرع ألف).

٧ - ويجري تقدير للنتائج المترتبة على التعرض للإشعاع (الفصل الثاني، الفرع باء) باستخدام نتائج البحث البيولوجي الإشعاعي مقترنا باستخدام نتائج الدراسات الوبائية للمجموعات البشرية المعرضة للإشعاع. ويرد في الفصل الثالث تلخيص وتقييم لمختلف مصادر تعرض الإنسان للإشعاع. وتقدر الجرعات بالاستناد الى المعلومات الواردة في المؤلفات المنشورة، وتستكمل هذه المعلومات بالبيانات التي يقدمها العديد من الدول الأعضاء في الأمم المتحدة. وفي كثير من الأحيان، يتعين على من يستخدمون تقارير اللجنة أن يأخذوا في الاعتبار كيفية تصور الناس للمخاطر المحتملة المرتبطة بالإشعاع المؤين. وتتوقف هذه التصورات على عوامل وتفاعلات شخصية ومجتمعية مختلفة. وترد في الفصل "الرابع" مناقشة المعالم الرئيسية لتصور الخطر الإشعاعي، في حين يتضمن الفصل "الخامس" خلاصة وجيزة ونوع من الإشارة الى المنظورات.

٨ - واللجنة تدرك تنوع مجموعة قراء هذا التقرير المقدم الى الجمعية العامة ومرفقاته العلمية. فالأفراد وأعضاء الحكومات في مختلف بلدان العالم يساورهم قلق ازاء مخاطر الإشعاع الممكنة. والعلماء والأخصائيون الطبيون مهتمون بالبيانات المجمع في تقارير اللجنة وبمنهجيات تقدير الإشعاع المعروضة. واللجنة تعمد، في أداء عملها، الى تطبيق أحكامها العلمية على ما تستعرضه من مواد، وتحرص على الاحتفاظ بموقف مستقل ومحايد في التوصل الى استنتاجاتها. ونتائج عمل اللجنة تعرض على عموم القراء في متن التقرير المقدم الى الجمعية العامة. أما المرفقات العلمية الداعمة فهي مكتوبة في شكل وأسلوب لغوي موجّهين أساسا الى الأخصائيين.

٩ - ووفقا للممارسة المرعية، لا يحال الى الجمعية العامة سوى متن التقرير. أما التقرير الكامل، الذي يتضمن المرفقات العلمية، فسيصدر في شكل منشور من منشورات الأمم المتحدة المخصصة للبيع. والغرض من هذه الممارسة هو تحقيق تعميم أوسع للنتائج التي يتم التوصل اليها لكي تستفيد منها الأوساط العلمية الدولية. وتود اللجنة أن تلفت انتباه الجمعية العامة الى أن متن التقرير مقدم منفصلا عن مرفقاته العلمية توخيا للتسهيل فقط. وينبغي الانتباه الى أن البيانات العلمية الواردة في المرفقات لها أهمية كبيرة لأنها تشكل أساس استنتاجات التقرير.

ثانيا - الآثار البيولوجية للإشعاع المؤين

١٠ - تحدث عملية التأين تغيرات في الذرات والجزيئات. وفي الخلايا، يمكن أن يكون لبعض التغيرات الأولية نتائج قصيرة الأجل وأخرى طويلة الأجل. وإذا حدث ضرر خلوي ولم يجر اصلاحه كما ينبغي، فإن ذلك الضرر قد يحول دون بقاء الخلية على قيد الحياة أو تكاثرها، أو قد يفضي الى خلية قابلة للحياة ولكن محورة. وكل من النتيجتين تترك آثارا مختلفة اختلافا كبيرا على الكائن العضوي بكامله.

١١ - وعمل معظم أجهزة الجسم وأنسجته لا يتأثر بفقدان عدد قليل من الخلايا، بل ولا بفقدان أعداد كبيرة منها في بعض الأحيان. غير أنه اذا كان عدد الخلايا المفقودة في أحد الأنسجة كبيرا بما فيه الكفاية، وكانت هذه الخلايا هامة بالقدر الكافي، سترتب على ذلك ضرر ملحوظ يتجسد في تعطل وظيفة ذلك النسيج. واحتمال تسبب مثل هذا الضرر معدوم عندما تكون جرعات الإشعاع صغيرة، لكن إذا تجاوزت الجرعة مستوى معين (العتبة)، فإن هذا الاحتمال يزداد ازديادا حادا حتى يبلغ أقصى قيمة له (١٠٠ في المائة). وبعد تجاوز

العتبة، تزداد شدة الضرر أيضا مع زيادة الجرعة. وهذا النوع من الأثر يسمى أثرا قطعيا، لأن حدوثه مؤكد اذا كانت الجرعة كبيرة بالقدر الكافي. واذا كان يمكن تعويض فقدان الخلايا من خلال التكاثف، فإن الأثر المترتب على ذلك سيكون قصير الأمد نسبيا. واذا كانت الجرعات ناتجة عن حادثة تم تحديدها، فسيكون ممكنا في العادة تحديد الأفراد المتضررين. وبعض الآثار القطعية لها خصائص تميزها عن الآثار المماثلة الناتجة عن أسباب أخرى، مما يمكن أن يساعد على تحديد الأفراد المتضررين. ويجري في بعض الأحيان الكشف عن وقوع حادثة تمثل علّة أولية بظهور الآثار القطعية على غير توقع.

١٢ - وتختلف النتيجة اختلافا كبيرا اذا تم تحويل الخلية المشعة ولم تمت. فهي قد تتمكن عندئذ من انتاج نسيلة من الخلايا الوليدة المحورة. وتوجد داخل الجسم عدة آليات دفاعية في غاية الفعالية، ولكن من غير الواقعي أن ينتظر من هذه الآليات أن تكون فعالة كل الفعالية في كل الأوقات. وهكذا، فإن نسيلة الخلايا الناتجة من خلية جسمية محورة ولكن قابلة للحياة يمكن أن تتسبب، بعد فترة ممتدة ومتفاوتة الطول تدعى فترة الكمون، في ظهور حالة ورم خبيث، أي سرطان. وبازدياد الجرعة يزداد احتمال الإصابة بالسرطان لا شدة المرض. وهذا النوع من الأثر يسمى أثرا اتفاقياً، أي أنه "ذو طابع عشوائي أو احصائي". واذا حدث الضرر في خلية وظيفتها نقل المعلومات الوراثية الى الأجيال اللاحقة فإن هذه الآثار، التي يمكن أن تكون عديدة ومختلفة من حيث النوع والشدة، ستظهر في ذرية الشخص المتعرض. وهذا النوع من الأثر الاتفاقي يسمى أثرا وراثيا. وحتى اذا كانت الجرعات معروفة فإن الإصابات بالسرطان، أو باختلالات وراثية، لا يمكن اكتشافها الا بطريقة احصائية: أي أنه يتعذر تحديد الأفراد المصابين. ويرد أدناه مزيد من التفاصيل.

١٣ - وحالات التعرض للإشعاع تهم اللجنة أساسا لما تحدثه من تغيرات في مجموعة المخاطر المحتملة التي تتهدد البشرية. ولذلك، لا يزال جزء كبير من عمل اللجنة يتمثل في استعراض وتفسير البيانات التي تتيح فهما أفضل للعلاقات الكمية بين التعرض للإشعاع وتأثيره في الصحة. فباستثناء التشعيع الناتج عن الحوادث الخطيرة وتشعيع الأنسجة السليمة غير المستحب والذي لا مفر منه عند العلاج بالأشعة، فإن الجرعات التي تنفذ الى الانسان ليست كبيرة بالقدر الذي يحدث آثارا قطعية. ومع أن اللجنة لا تزال تهتم بالآثار القطعية (يتناول أحد مرفقات هذا التقرير موضوع الآثار القطعية عند الأطفال) فقد كان معظم عملها في المجال البيولوجي في الأعوام الأخيرة يتعلق بالآثار الاتفاقية في الإنسان.

١٤ - وأنسب مصادر المعلومات المتعلقة بالآثار البيولوجية للإشعاع هي ما يستمد مباشرة من الدراسات المتعلقة بالجماعات البشرية المعرضة لكميات معروفة ومختلفة من الإشعاع. والدراسة المقارنة لصحة هذه الجماعات تعرف بعلم الأوبئة، وهو فرع علمي يتطلب مهارات في مجالي الطب والرياضيات. وترد مناقشة هذا الأمر في الفرع "أولا - باء". وبالإضافة الى ذلك فإن ثمة قدر كبير من المعلومات عن آليات حدوث الضرر والعلاقات بين الجرعة واحتمال ظهور آثار الاعتلال في الانسان يمكن استمداده من البحوث البيولوجية التي تجرى على الخلايا المعزولة المستزرعة في المختبرات وعلى الحيوانات. وهذا النوع من الدراسات يمكن من الربط بين الضرر الذي يلحق بالخلايا وما يخلفه في النهاية من آثار في الأنسجة أو الكيان العضوي بكامله. ومن الصعب اجراء تكتهنات كمية بالمخاطر المحتملة التي تتهدد البشر استنادا الى بيانات غير بشرية، ولكن عندما لا تتوفر البيانات البشرية، قد يتعين استخدام البيانات الخاصة بالحيوانات مباشرة.

١٥ - والاهتمام العملي الرئيسي بمخاطر الاشعاع يتركز في دائرة الجرعات المنخفضة ومعدلات الجرعات الصغيرة التي يتم التعرض لها في العمل بالأشعة أو في غيرها من مجالات الحياة اليومية. غير أن الحاصل هو أن أمتن المعلومات الوبائية تأتي من حالات تنطوي على جرعات ومعدلات جرعات كبيرة. ويجري الآن إعداد بعض الدراسات عن الجرعات التي تستأثر بقدر أكبر من الاهتمام المباشر، كالجرعات التي يتعرض لها العاملون في مجال الإشعاع في الصناعة النووية والناس المعرضين للرادون في البيوت.

١٦ - ومن المهم ادراك أن الدراسات الوبائية لا يجب بالضرورة أن تستند الى فهم للآليات البيولوجية لتكون السرطان. غير أن تفسير تلك الدراسات يتحسن كثيرا اذا ما دعمت بمعلومات بيولوجية تؤدي الى نماذج بيولوجية مقنعة. ومن الممكن أن توفر هذه النماذج أساسا مفاهيميا لتفسير نتائج البحوث الوبائية، وذلك أساسا عن طريق استخلاص علاقات بين الجرعة والاستجابة يمكن تطبيق بارامتراتهما على النتائج الرصدية للبحوث الوبائية. والمعلومات التي توفرها البيولوجيا التجريبية تستكمل أيضا بالمعارف البيوفيزيائية المتعلقة بالترسب الأولي للطاقة الناجمة عن الاشعاع في الأنسجة المتعرضة له. وبذلك يتم الجمع بين النتائج النظرية والتجريبية بغية التوصل الى علاقة كمية بين الجرعة واحتمال حدوث السرطان المتصل بها.

ألف- البيولوجيا الاشعاعية

١ - هدف الفعل الاشعاعي

١٧ - يمثل الحمض النووي الريبوزي المختزل (د. ن. أ.)، وهو المادة الحاملة للخصائص الوراثية للخلايا، أهم أهداف الفعل الاشعاعي. وتدل البحوث الخلوية المختبرية دلالة قوية على أن آثار الاشعاع الاعتلالية نابعة أساسا من الضرر الذي يحدثه الاشعاع في حمض "د. ن. أ." الخلوي.

١٨ - ويوجد حمض "د. ن. أ." في الكروموسومات التي هي المكونات الأساسية لنواة الخلية. وقبل كل انقسام لخلايا الجسم، تتكاثر الكروموسومات بحيث تتلقى كل خلية وليدة مجموعة مماثلة من الكروموسومات. ويتميز كل نوع من الثدييات بعدد خاص وثابت وحجم خاص وثابت للكروموسومات.

١٩ - ولتوضيح آليات وقوع الضرر الذي يلحقه الاشعاع المؤين بالخلايا، يلزم تقديم وصف مبسط لوظيفة جزيء "د. ن. أ.". ومع أن الإبقاء على هيكل الكروموسومات العام أمر أساسي لعدة عمليات تشمل حامض "د. ن. أ." فان بوليمر "د. ن. أ." ذاته هو مصدر المعلومات التي تنتقل من الخلية الى نسلها. ويتم ترميز المعلومات في سلسلة خطية من التراكيب الجزيئية المتعاقبة التي تسمى بالأزواج القاعدية. وتشكل هذه الأزواج صلات بين ضفيري العمود الفقري لبوليمر "د. ن. أ." المزدوج الضفائر.

٢٠ - إن شفرة الأزواج القاعدية في حمض "د. ن. أ." مرتبة على شكل مجموعات، توفر كل واحدة منها الوحدة الأساسية للمعلومات والخصائص الوراثية الخلوية، أي الجين. ويرجح أن تحتوي الخلية الواحدة من خلايا الثدييات على قرابة ١٠٠ ٠٠٠ من الجينات، تعتمد كل منها في الأداء السليم لوظيفتها على الاحتفاظ بسلسلة ثابتة من الأزواج القاعدية في "د. ن. أ.". ويمكن للتغيرات في هذه التسلسلات، سواء باستبدال أزواج قاعدية

بأخرى أو عن طريق النقص أو الزيادة، أن تؤدي إلى تغيير وظيفة الجين. ويطلق على هذه التغيرات مصطلح "الطفرات الوراثية".

٢١ - ومن المعروف أن حامض "د. ن. أ." يتضرر بالإشعاع. وثمة آليتان لحدوث ذلك، هما: (أ) الآثار المباشرة للتأين في تركيبة "د. ن. أ."؛ و (ب) الآثار غير المباشرة الناجمة عن إنتاج جذور كيميائية نشطة بالقرب من "د. ن. أ." وانتشار هذه الجذور الكيميائية حتى تصل إلى "د. ن. أ."، حيث تستحث تغيرات كيميائية. ولكل من الآثار المباشرة وغير المباشرة طابع احتمالي، مع تزايد احتمالات حدوثها تبعا للجرعة الإشعاعية وحجم الهدف. وهناك مسببات عديدة أخرى لتضرر "د. ن. أ." منها الأخطاء الحاصلة في عملية التكرار عند انقسام الخلايا.

٢٢ - والضرر اللاحق بحمض "د. ن. أ."، بما في ذلك الضرر الإشعاعي، يخضع لآليات إصلاح فعالة جدا تتأتى بفعل الأنزيمات. فإذا كان الضرر اللاحق بحمض "د. ن. أ." في أحد الجينات محصورا في ضفيرة واحدة، فإن آليات الإصلاح تستطيع استخدام المعلومات التي توفرها القواعد المناظرة الموجودة في الضفيرة الأخرى. وعندئذ تكون احتمالات الإصلاح عالية؛ لكن الإصلاح، مثلما هو الحال في أي نظام معقد، لا يخلو دائما من الأخطاء. ففي بعض الأحيان، قد يلحق ضرر بكلتا الضفيرتين في نفس الموقع من الجين. وعندئذ يصبح الإصلاح أصعب وتزداد احتمالات حصول تغير في الشفرة الوراثية أو فقدانها.

٢٣ - ويتألف مسار الإشعاع من سلسلة من الأحداث المنفصلة، ينطوي كل حدث منها على ترسب موقعي للطاقة. فإذا وقع هذا الترسيب بجوار جزيء "د. ن. أ." مباشرة، وكان كبيرا بما فيه الكفاية، قد يقع ضرر جزيئي في قواعد "د. ن. أ." أو في صفائر العمود الفقري. وتتوقف طبيعة واحتمالات وقوع الضرر البيولوجي الناشيء عن الضرر اللاحق بجزيء "د. ن. أ." على كثافة ترسب الطاقة على طول المسارات التي تتقاطع مع جزيء "د. ن. أ."، وكذلك على التفاعل المعقد بين الضرر الحاصل وانزيمات الإصلاح الخلوية. ففي حالة الإشعاعات الخفيفة التأين، مثل الأشعة السينية، يكون الأثر الصافي لهذه العمليات متمثلا في أن العلاقة بين الجرعة والأثر، بالنسبة لمعظم الآثار الاتفاقية، هي علاقة غير خطية. أما الإشعاعات الكثيفة التأين، مثل جسيمات ألفا والبروتونات التي تنتجها النيوترونات، فهي أكثر فعالية في إحداث الآثار الاتفاقية، ويرجح أن تكون العلاقات بين الجرعة والأثر علاقات خطية.

٢٤ - وفضلا عن هذه الآثار التي تقع في نقطة واحدة في جزيء "د. ن. أ."، يمكن أن يتسبب وجود عدد من الأزواج الأيونية المتناثرة داخل النواة في حصول تغيرات خلوية تعقد نمط الاستجابة البسيط الموصوف أعلاه.

٢٥ - وبصرف النظر عن تفاصيل الآلية البيولوجية، يمكن التعبير عن احتمال تسبب الإشعاع في حدوث تغيرات معينة في الشفرة الوراثية للخلايا بواسطة مسارات منفردة، والتفاعل الإضافي للمسارات المتعددة، بأنه مجموع حدين أحدهما متناسب مع الجرعة والآخر متناسب مع مربع الجرعة. ففي حالة الجرعات الصغيرة، بأي معدل للجرعة، والجرعات الكبيرة، بمعدل جرعة منخفض، يكون الحد متناسب مع الجرعة هو وحده الفعال. أما في حالة الجرعات الكبيرة، بمعدل جرعة عال، فيكون الحدان فعالين. وفي حالة الإشعاع الكثيف التأين، مثل جسيمات ألفا، تكون المسارات في وحدة الجرعة أقل عددا ولكن أكثر كثافة. ومن المرجح كثيرا أن يحدث

كل مسار ضررا يتعذر إصلاحه، وبالتالي، فإنه من الأرجح أن تكون العلاقة بالجرعة، أيا كان مقدارها أو معدلها، علاقة تناسبية.

٢٦ - وعندما تتعرض الأنسجة البشرية للاشعاع، تستحث عشوائيا تغيرات شتى في الشفرة الوراثية للخلية (طفرات)، وتكون الاحتمالات متوقفة على الجرعة حسبما سبقت مناقشته. وفي أي تغير، يكون العدد المتوقع للخلايا المحورة هو حاصل ضرب الاحتمال في عدد الخلايا المعرضة للخطر. وتعتبر هذه الخلايا المعرضة للخطر، هي الخلايا الجذعية للأنسجة، أي الخلايا التي تحافظ على الأنسجة بالانقسام، بحيث تعوض عن الخلايا التي تنضج وتتمايز وتموت في النهاية، وفيما يسمى بدورة تكاثر الخلايا.

٢ - آثار التغيرات المستحثة في الشفرة الوراثية الخلوية

٢٧ - تتعارض بعض التغيرات في الشفرة الوراثية الخلوية مع استمرار النشاط التكاثري للخلية، مما يؤدي الى هلاك نسل الخلية. وما لم تقتل خلايا كثيرة، لا يكون لهذا في العادة أي آثار في الأنسجة والأعضاء، وذلك بسبب ضخامة عدد الخلايا الموجودة في النسيج وما توفره من فائض كبير جدا في قدرة النسيج الوظيفية.

٢٨ - ويمكن دراسة قتل الخلايا بواسطة الاشعاع دراسة كمية في مزارع الخلايا المختبرية للحصول على معلومات عن شكل العلاقة بين الجرعة والاستجابة. وتدل حوادث الاشعاع والتجارب التي تجرى على الحيوانات الحية، أن الجرعات الكبيرة يمكن أن تستنفذ الأنسجة إلى درجة تكفي لإحداث قصور وظيفي. ومن شأن الآثار القطعية في بعض الأنسجة، مثل الأنسجة الوعائية والضمامة، أن تسبب بدورها ضررا ثانويا في أنسجة أخرى.

٢٩ - وثمة أنواع أخرى من التغيرات في الشفرة الوراثية نتيجتها خلايا قابلة للحياة ولكن محورة. وقد ينتمي بعض هذه الخلايا الى أنساق خلوية تناسلية (البويضات أو السائل المنوي) ويتجسد ذلك التغير في الآثار الوراثية. أما البعض الآخر فيبقى في الأنسجة المعرضة، ويصبح سببا محتملا لظهور الآثار الجسدية. والآثار في كلتا الحالتين، هي آثار اتفاقية يحكمها الطابع الاحتمالي لاستحداث التغيرات في الشفرة الوراثية الخلوية.

(أ) الآثار القطعية

٣٠ - في حين أن هلاك الخلايا المنفردة يمثل أثرا اتفاقيا، فإن قصور الأعضاء والأنسجة يتطلب قتل أعداد كبيرة من الخلايا وله بالتالي حدود جرعية. واستنفاد الخلايا هو عملية دينامية داخلية في منافسة مع تكاثر الخلايا السليمة. ولذلك فإن القصور النسيجي يتوقف على كل من الجرعة والمعدل الجرعي. وعلى الرغم من أن التغيرات في الخلايا المنفردة تتسم بطابع اتفاقي، فإن التغيرات التي تلحق بعدد كبير من الخلايا تفضي الى نتيجة قطعية. ولذلك فإن هذه الآثار تسمى آثارا قطعية.

٣١ - ونظرا لأن نسبة الخلايا المقتولة تتوقف على الجرعة فإن شدة الأثر القطعي تتوقف أيضا على الجرعة. فاذا تعرض للاشعاع أناس يختلفون من حيث درجة الحساسية فإن بلوغ العتبة التي تحدث عندها آثار قطعية في نسيج معين، وبشدة تكفي لملاحظتها، يتطلب جرعات أقل في الأفراد الأكثر حساسية. ومع ازدياد

الجرعة، يزداد عدد الأفراد الذين سيظهر عليهم الأثر بدرجة يمكن ملاحظتها، وبعد جرعة معينة يظهر الأثر على المجموعة كلها.

٣٢ - ومن أمثلة الآثار القطعية، إحداث العقم المؤقت والدائم في الخصيتين والمبيض؛ وإضعاف فعالية نظام تكوين الدم، مما يؤدي إلى نقصان عدد خلايا الدم؛ واحمرار الجلد وتقشره وتقرحه، مما يمكن أن يؤدي إلى فقدان البشرة؛ وإحداث الظلال في عدسة العين وضعف النظر (إعتام العدسة)؛ والالتهابات التي يمكن أن تصيب أي عضو. وتكون بعض الآثار غير مباشرة لأنها ناتجة عن آثار قطعية لحقت بأنسجة أخرى. فالإشعاع الذي يتسبب في التهاب الأوعية الدموية وتليها في النهاية، على سبيل المثال، قد يفضي إلى إلحاق الضرر بالأنسجة التي تغذيها تلك الأوعية الدموية.

٣٣ - وهناك حالة خاصة من الأثر القطعي هي متلازمة الإشعاع الناتجة عن التشعيع الحاد لكامل الجسم. وإذا كانت الجرعة عالية بما فيه الكفاية، يمكن أن تحدث الوفاة نتيجة للاستنفاد الشديد للخلايا والتهاب واحد أو أكثر من الأعضاء الحيوية في الجسم (الأعضاء المكونة للدم، والجهاز المعدي- المعوي، والجهاز العصبي المركزي، حسب الترتيب التنازلي للحساسية).

٣٤ - وأثناء تكون الأعضاء داخل الرحم، تكون آثار الإشعاع القطعية في أوضح صورها عند تكون النسيج المعني. فقد يفضي قتل الخلايا الأساسية، ولو بأعداد قليلة، إلى حصول تشوهات، لأن هذه الخلايا لن تتكاثر. وهناك أثر هام للتعرض للإشعاع داخل الرحم، هو حدوث قصور عقلي تزداد حدته تبعاً لزيادة الجرعة حتى يصل إلى درجة التخلف العقلي الشديد.

٣٥ - ويعتقد أن حدوث التخلف العقلي المستحث ناتج عن قصور في تكاثر الخلايا العصبية وتمييزها وهجرتها وتربطها وقت تكون النسيج المعني (قشرة الدماغ)، وهي الفترة التي تتراوح بين ٨ أسابيع و ١٥ أسبوعاً بعد الحمل عند البشر. ويتوقف عدد الخلايا العصبية المعطوبة الروابط على مقدار الجرعة. فإذا سلمنا، كتقريب أولي، بأن درجة القصور العقلي تتناسب مع هذا العدد، فمن المتوقع أن تجسد المؤشرات القياسية للوظائف الإدراكية، مثل معامل الذكاء، هذا الارتباط بمقدار الجرعة.

٣٦ - وفي الجماعات السكانية، يكون لمعامل الذكاء، توزيع طبيعي (غاوسي) تقريباً، اصطلاح على أن تكون قيمته المركزية ١٠٠. وبما أن متوسط معامل الذكاء ينخفض بارتفاع جرعة الإشعاع، وذلك فيما يبدو دون ارتفاع في سعة الانتشار (الانحراف المعياري)، فإنه يمكن وصف الانخفاض في قيم معامل الذكاء بأنه انتقال منتظم لمنحنى معامل الذكاء إلى اليسار (أي إلى قيم أدنى). وإذا جرى تعريف الحالة المرضية بأنها حالة يكون فيها معامل الذكاء لدى فرد ما دون القيمة المفترضة، فإن من شأن هذا الانتقال أن يزيد من عدد الأفراد المصابين بهذه الحالة المرضية. وهذا أمر هام لتفسير التخلف العقلي الذي يستحثه الإشعاع والذي يلاحظ بواسطة التحليل الوبائي، وهذا ما يتناوله الفرع ثانياً، باء، ١.

(ب) إحداث السرطان

٣٧ - هناك أدلة قوية على أن معظم حالات السرطان، إن لم تكن كلها، تنشأ عن الضرر الذي يلحق بخلايا منفردة. فبداية السرطان تنطوي على فقدان ضبط النمو والتكاثر والتطور في الخلايا الجذعية للجسم، أي فقدان التحكم في دورة تكاثر الخلايا وعمليات تمايزها. وتلعب الطفرات النقطية والضرر الكروموسومي أدواراً في بداية تكون الورم. ويمكن أن ينتج ذلك من تعطل نشاط الجينات المانعة لتكون الأورام والتي يؤدي بعضها دوراً أساسياً في ضبط دورة الخلية. ومع أن الخلايا قد تكون خضعت لتغيرات بادئة، فهي لن تظهر خصائصها إلا عند حفزها ("دفعها") على التكاثر بواسطة الكيماويات والهرمونات والخ - الموجودة في بيئتها. ويمكن أن تكون العوامل الدافعة مستقلة عن العامل الباديء.

٣٨ - وعادة ما تكون التغيرات المنفردة في الشفرة الوراثية الخلوية غير كافية لتكوين خلية محورة تحويراً كاملاً قادرة على إحداث سرطان؛ فهذا يتطلب سلسلة من الطفرات (ربما يتراوح عددها بين اثنتين وسبع). وفي حالات السرطان العفوي، تحدث هذه الطفرات عشوائياً أثناء الحياة. وبالتالي، وحتى بعد التحول الخلوي الأولي والحفز، تظل هناك حاجة إلى طفرات أخرى، ربما تكون متوفرة فعلاً، لإكمال الانتقال النسيلى من طور ما قبل تكون الورم إلى طور السرطان الظاهر. وتسمى العملية بكاملها "التسرطن المتعدد المراحل".

٣٩ - ومن الممكن أن يكون للاشعاع فعل في عدة أطوار من عملية التسرطن المتعدد المراحل، غير أن دوره الرئيسي يتمثل، فيما يبدو، في التحويل الأولي للخلايا الجذعية الطبيعية إلى حالة ما قبل تكون الورم. وفعل الاشعاع ليس سوى واحدة من عمليات عديدة تؤثر في نشوء السرطان، وبالتالي، يستبعد أن تكون السن التي يظهر فيها السرطان المستحث بالاشعاع مختلفة كثيراً عن السن التي يظهر فيها السرطان الناشئ عفواً. ولكن في بعض الحالات قد تتأثر الأطوار اللاحقة بالاشعاع، فيتغير بالتالي الوقت الذي يظهر فيه السرطان.

٤٠ - وبداية السرطان توفر للخلايا المستهدفة درجة من التفوق التكاثري أو الانتقائي يتجلى بعد حفز كاف. وقد يتمثل هذا التفوق في قصر الفترة اللازمة للتكاثر عما هي عليه بالنسبة للخلايا الطبيعية، أو تعطيل التمايز الخلوي الطبيعي. ومن جهة أخرى، فإن الخلايا المحورة ذات العدد الصغير جداً تكون مغمورة في عدد أكبر كثيراً من الخلايا الطبيعية، وبالتالي يمكن للخلايا المجاورة لها أن تعوق خصائصها السابقة لتكون الورم. والفكاك من هذه القيود هو سمة أساسية لعملية تكون الورم.

٤١ - ويمكن القضاء على الخلايا المحورة ونسلها، على الرغم من تفوقها التكاثري، من خلال العملية العشوائية التي تشمل التوالد والتمايز النهائي والموت، والتي تكون مستمرة بانتظام في الأنسجة الناضجة. واحتمال القضاء على الخلايا المحورة يتوقف على عددها وعلى مدى ما اكتسبته من استقلالية. ولكي ينشأ السرطان، يجب أن تفضي خلية واحدة على الأقل إلى نسيلة من الخلايا المحورة. ويرتبط احتمال حدوث ذلك بالجرعة وفقاً لنوع العلاقة ذاته بين الجرعات (خطية أو خطية- تربيعية) مثلما جرت مناقشته بالنسبة للطفرات الموروثة داخل الخلية. وهذا يدعم عموماً الرأي القائل بأن الأحداث الخلوية المستحثة عشوائياً مسؤولة عن أحداث السرطان.

٤٢ - وتؤكد تجارب عديدة أجريت على الحيوانات الشكل المتكهن به للعلاقة بين الجرعة والاستجابة. وينبغي الإشارة إلى أن هلاك الخلايا يكون كبيراً إذا كانت الجرعات كبيرة، بحيث يتنافس مع تحويل الخلايا

ويتسبب في انحدار منحنى العلاقة بين الجرعة والاستجابة. وينبغي التشديد بوجه خاص على النقطتين التاليتين:

(أ) لا ينبغي توقع وجود عتبة للجرعات الدنيا، ما لم يعتبر احتمال نشوء معظم أنواع السرطان من خلية وحيدة احتمالا ضعيفا؛

(ب) إذا كان دور الاشعاع يتمثل أساسا في كونه حدثا بادئا، يوفر طفرة من عدة طفرات لازمة، فيمكن توقع أن تكون النماذج التضاعفية لاسقاطات المخاطر المحتملة مع مرور الزمن أكثر واقعية من النماذج القائمة على الاضافة (انظر أيضا الفرع "ثانيا"، بء، ٢).

٤٣ - وثمة مشاكل في تقدير احتمالات الإصابة بالسرطان عند التعرض لجرعات قليلة أو معدلات جرعية منخفضة، لأن معظم البيانات المتوفرة المتعلقة بالبشر تنحصر في حالات الجرعات الكبيرة والمعدلات الجرعية العالية. والنهج الشائع استخدامه في تقدير المخاطر المحتملة هو أن تطبق على البيانات علاقة خطية بين الجرعة والاستجابة، وهو إجراء يعتبر في العادة كفيلا باعطاء حد أعلى للمخاطر المحتملة عند التعرض لجرعات قليلة. وهذا يرجع الى أن الحد التربيعي يزيد الاستجابة في حالة الجرعات الكبيرة، بمعدلات جرعة عالية، مما يفرض زيادة في انحدار الخط المستقيم المطبق. واستنادا الى اعتبارات البيولوجيا الاشعاعية، يمكن اذن تقدير قيمة العامل الذي يخفض به انحدار المنحنى المطبق من أجل اعطاء تقدير للمكون الخطي للعلاقة الخطية- التربيعية. وقد بدأت تظهر الآن معلومات مباشرة عن البشر المعرضين لجرعات قليلة، مما يتيح أكثر فأكثر التحقق من التقديرات المستمدة من البيانات المتعلقة بالجرعات الكبيرة.

٤٤ - ويبدو أن الأنظمة الجديدة لدراسة تحول الخلايا في المختبر، والدراسات الخلوية والجزيئية التي تجري باستخدام هذه الأنظمة والأورام الحيوانية، يمكن أن تكون مصادر معلومات مفيدة جدا عن آليات احداث السرطان. وقد تمكن الدراسات الخلوية والجزيئية الحديثة من التمييز بين السرطان المحدث بالاشعاع وغيره من أشكال السرطان. وإذا تقرر القيام بخزن منتظم لعينات الأورام المأخوذة من الجماعات البشرية المعرضة للاشعاع، فإن تلك العينات ستكون، عندئذ، مصدرا هاما جدا للدراسات المقبلة المتعلقة بالآليات المكونة للورم ولإقامة علاقة سببية بين السرطان الذي يصيب الناس والمواد الفيزيائية والكيميائية المسببة للسرطان في البيئة.

(ج) الآثار الوراثية

٤٥ - إذا حصل التغير في الشفرة الوراثية في الخلايا التناسلية، أي في البويضة أو السائل المنوي أو في الخلايا التي تنتجها، فإن الأثر ينتقل ويمكن أن يتجلى على شكل اختلالات وراثية في نسل الأفراد المعرضين. وتكشف الدراسات التجريبية التي أجريت على النباتات والحيوانات أن هذه التغيرات يمكن أن تتراوح بين الخلل الخفيف والخلل الجسيم، وتسبب في فقد جسيم للقدرة على الأداء الوظيفي وفي اختلالات خلقية وفي الوفاة المبكرة.

٤٦ - وأي ضرر غير مميت يصيب "د ن ٠ أ" في الخلايا التناسلية يمكن، من حيث المبدأ، أن ينتقل الى الأجيال اللاحقة. والاختلالات الوراثية عند البشر تتباين تباينا واسعا من حيث شدتها. فالطفرات السائدة، أي

التغيرات في الشفرة الوراثية التي تحدث أثرا اكلينيكيًا عندما تورث من أحد الأبوين فقط، يمكن أن تؤدي إلى اختلالات وراثية في الجيل الأول من الذرية. وبعض هذه الاختلالات مضر جدا بالشخص المصاب ويؤثر في طول العمر وفي احتمالات الإنجاب. وهناك بضعة طفرات سائدة يمكن أن تنتقل دون أثر عبر عدة أجيال ثم تحدث آثارها فجأة. ويمكن أن يحدث هذا إذا خففت الجينات الأخرى من مفعول ذلك الجين أو إذا كان الجين موسوماً، أي أن ظهور مفعوله يتوقف على كونه موروثاً من الوالد أو الوالدة.

٤٧ - أما الطفرات المتنحية فهي التغيرات في الشفرة الوراثية التي لا تحدث أثرا اكلينيكيًا إلا إذا ورثت نسختان من الجين المعطوب، وفي أي نسخة من كل من الأبوين في العادة. وتلك التغيرات تحدث أثرا قليلا في الأجيال القليلة الأولى، إذ أن معظم الذرية ترث الجين المعطوب عن أحد الأبوين فقط، فلا يتضرر حاملوها في العادة. غير أن الطفرات المتنحية قد تتراكم في مجموعة الجينات لدى السكان، إذ أن كل حامل للجين المعطوب ينقل الطفرة إلى عدد من المواليد. ومع ازدياد احتمالات حمل كل من الأبوين لتلك الطفرة، تزداد أيضا المخاطر المحتملة لوراثة الطفل لنسختين من الجين المعطوب، ومن ثم إصابته بالآثار الضارة للطفرة.

٤٨ - وهناك نقطتان هامتان بشأن الطفرات المتنحية. فكثيرا ما يكون للطفرة المتنحية بعض الأثر، مهما كان طفيفا، حتى وإن ورثت نسخة واحدة فقط من الجين المعطوب، وعليه فهو قد يؤدي إلى عيب تناسلي. كما أن الطفرات المتنحية التي تدخل على مجموعة الجينات تخضع لعمليات تنزع إلى القضاء عليها: الإطراح العشوائي، ويسمى بالانجراف، والانتقاء القائم على عيب تناسلي. ولهذا السبب، تحدث الطفرات المتنحية المستحثة حديثا في مجموعة الجينات ضررا تاما محدودا في أجيال الخلف.

٤٩ - وهناك نوع ثالث وكثير الانتشار من أنواع التغير الضار يعود إلى تفاعل عدة عوامل جينية وبيئية؛ وهي تعرف بالاختلالات المتعددة العوامل. ويتوقع لأي زيادة عامة في الطفرات أن تزيد من وقوع الاختلالات المتعددة العوامل. أما مقدار هذه الزيادة فهو غير واضح في الوقت الحالي ولكن يرجح أن يكون صغيرا.

باء - علم الأوبئة

٥٠ - إن الدراسات الوبائية، لدى تفسيرها بمساعدة المعارف البيولوجية، توفر أساسا لتقييم آثار التعرض للإشعاع. وهناك أيضا دراسات نوعية عديدة تثبت أن الإشعاع يمكن، إذا كانت جرعاته كبيرة بدرجة كافية، أن يسبب السرطان في معظم أنسجة الجسم وأعضائه. بيد أن هناك العديد من الحالات الاستثنائية البارزة. فالمصادر الرئيسية الثلاثة للمعلومات الكمية المتوفرة في الوقت الحاضر عن الآثار الاتفاقية التي يحدثها الإشعاع في الإنسان هي الدراسات الوبائية التي أجريت على الناجين من تفجير القنبلتين النوويتين في هيروشيما وناغازاكي، وعلى المرضى الذين يتعرضون للإشعاع في إطار الإجراءات التشخيصية والعلاجية، وعلى بعض مجموعات العمال المعرضين للإشعاع أو للمواد المشعة في مكان العمل. وكما سيتضح في هذا الفرع، هناك أمل ضعيف في أن تؤدي دراسة الاختلافات في درجة التعرض للمصادر الطبيعية (باستثناء الرادون) إلى الحصول على معلومات كمية عن الآثار الاتفاقية؛ ولكن بعض الأحداث التي تشمل انبعاث الرادون بمستويات مرتفعة أو حصول تلوث بيئي شديد نتيجة للحوادث يمكن، ولا شك، أن تتيح تحديد المجموعات التي يمكن أن يجري عليها المزيد من الدراسات ذات الصلة.

٥١ - ويعنى علم الأوبئة بتحديد أنماط حدوث الأمراض، ويربط هذه الأنماط بالأسباب المحتملة، ثم يحدد الترابط بطريقة كمية. وهذه العملية هي عملية رصد واستدلال. والطبيعة الملازمة للدراسات الوبائية هي الرصد: وهو يجري وفقا للظروف لا نتيجة لتصميم تجريبي. ويمكن اختيار المجموعات التي ستدرس وطرائق تحليل البيانات، ولكن يندر أن تتاح الفرصة لتعديل أحوال المجموعة المدروسة أو لتغيير توزيع الأسباب التي يجري التحقيق فيها. وعلم الأوبئة يختلف اختلافا كبيرا، من هذه الناحية، عن العلوم التجريبية.

٥٢ - وقد استعرضت اللجنة ثلاثة أنواع من الدراسات الوبائية هي: الدراسات الفوجية، والدراسات الإفرادية المقارنة، ودراسات الترابط الجغرافي. ففي الدراسات الفوجية، تختار مجموعة من الأفراد، هم الفوج، على أساس تعرضها للمادة الذي ينصب عليها الاهتمام ودون الإشارة مسبقا إلى المرض الذي يدرس، كالسرطان مثلا. ثم تتابع هذه المجموعة مع تقدم الزمن لتسجيل عدد الوفيات الناجمة عن الأمراض ذات الصلة أو الإصابات بهذه الأمراض. ويقدر تعرض أعضاء الفوج للمادة المسببة المشتبه فيها إما بناء على القياسات التي تجرى في وقت التعرض، كما يجري في حالات التعرض المهني، أو عن طريق الدراسات الاستيعادية. ويمكن عندئذ، عن طريق التقنيات القياسية المستخدمة في علم الأوبئة، المقارنة بين الإصابات المرضية أو معدلات الوفيات التي تحصل في أعقاب التعرض لمستويات اشعاع مختلفة.

٥٣ - وإذا تعرض جميع أعضاء الفوج للإشعاع ولم يكن نطاق الاختلافات في درجة التعرض واسعا بما يكفي لتوفير عدة مجموعات تختلف درجات تعرضها للإشعاع، يتعين مقارنة تجربة هذا الفوج بتجربة فوج مرجعي يكون تعرض أفراده أقل كثيرا. وينبغي، من الناحية المثالية، أن يكون الفوجان متشابهين إلى حد كبير في الخصائص التي يمكن أن تؤثر في الإصابة بالمرض المدروس أو الوفيات الناجمة عنه. وإذا لم يكن الأمر كذلك، فإن هذه الخصائص قد تشكل عوامل التباس، وهي عوامل تشوه العلاقة المرصودة بين المرض ودرجة التعرض للإشعاع. وحتى ضمن الفوج الواحد، يمكن أن توجد عوامل التباس بين المجموعات التي تتباين مستويات تعرضها. وعندما تتوفر معلومات عن قيم هذه العوامل بالنسبة إلى أفراد الأفواج، قد يصبح بالإمكان أخذ هذه العوامل في الاعتبار. وفي حالة السرطان، ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار دائما عاملان واضحا هما السن والجنس. أما العوامل غير البارزة للعيان، ومنها النظام الغذائي والحالة الاجتماعية والاستعداد الوراثي، فقد تستمر ويكون من الصعب حسابها كميا أو حتى التصرف فيها.

٥٤ - ومن الدراسات الفوجية الهامة دراسة المدى العمري، التي أجريت على الناجين من قصف هيروشيما وناغازاكي بالقنابل الذرية. وتستند هذه الدراسة إلى فوج كبير يضم جميع الأعمار والجنسين، وتختلف درجات تعرض أفرادها للإشعاع اختلافا كبيرا. ولا يزال حوالي ٦٠ في المائة من أفراد الفوج الأصلي على قيد الحياة، ولذا فإن الاستنتاجات الحالية لا تزال تستند إلى بيانات ناقصة، ولا سيما بالنسبة إلى من تعرضوا للإشعاع في شبابهم؛ لكن هذه الدراسة تظل أهم دراسة فوجية تستخدمها اللجنة.

٥٥ - أما في النوع الثاني من الدراسات، أي دراسة الحالة الإفرادية المقارنة، فإن الهدف هو التحقق من جميع الحالات المرضية في مجموعة سكانية معينة مثل من يعيشون في منطقة معينة خلال فترة معينة؛ ثم يجري، بالنسبة إلى كل حالة إفرادية، اختيار واحد أو أكثر من الأفراد المرجعيين غير المصابين بالمرض والمأخوذين من نفس مجموعة السكان التي يأتي منها المصابون. ويمكن عندئذ إجراء مقارنة بين الحالات الإفرادية والأفراد

المرجعيين لمعرفة ما إذا كانت هناك اختلافات كبيرة في التعرض للإشعاع. وكما هي الحال بالنسبة إلى الدراسات الفوجية، لا بد من الحرص على تجنب آثار عوامل الالتباس. ويمكن أن يتم هذا إما عن طريق توكي توفر نفس الصفات مثل السن والجنس لدى كل من الأفراد المصابين وغير المصابين، أو عن طريق استخدام التقنيات الإحصائية في التحليل.

٥٦ - وبما أنه ينبغي أن تقتصر الدراسة على الأفراد المرضى والأصحاء المشابهين لهم، فإن الدراسات الفردية المقارنة يمكن أن تعطي نتائج هامة عندما تجرى على مجموعات أصغر من المجموعات اللازمة للدراسات الفوجية. ولذلك فإن الدراسات الفردية المقارنة تكون مفيدة حيث يستلزم جمع البيانات المتعلقة بحالات التعرض الفردية عملاً ميدانياً مفصلاً وواسع النطاق، مما يجعل الدراسات الفوجية مستحيلة أو باهظة التكاليف. وللدراسات الفردية المقارنة فائدة كبيرة في تقصي ما للتعرض للرادون في المساكن من آثار تتصل باحتمال الإصابة بسرطان الرئة. ومن المهم، في هذه الدراسة، أن تؤخذ في الاعتبار عادات التدخين التي يشيع أن تكون البيانات التاريخية المتعلقة بها غير متوفرة أو غير موثوق بها في الدراسات الفوجية. بيد أنه يمكن التماس البيانات الضرورية في الدراسات الفردية المقارنة.

٥٧ - أما النوع الثالث من الدراسات فهو دراسات الترابط الجغرافي. وهي، في العادة، أسهل الدراسات إجراء ولكنها أصعبها تفسيراً وأكثرها عرضة للخطأ. ففي دراسة الترابط الجغرافي، تختار مجموعتان أو أكثر من الناس في مواقع مختلفة. ويستند الاختيار إلى الفرق في درجة التعرض طويل الأجل للإشعاع الآتي عادة من مصادر طبيعية. ثم تقارن الإحصاءات الصحية الخاصة بالمجموعات لتحديد الاختلافات ذات الصلة بالموضوع. وهذا الأسلوب يأخذ في الاعتبار الفرق في متوسط التعرض للإشعاع بين المجموعات، لكنه يتجاهل توزيع مستويات التعرض داخل هذه المجموعات، الذي يندر أن تتوفر معلومات عنه. وإذا كانت هناك عوامل التباس هامة، كالسن أو النظام الغذائي أو التعرض للتلوث، ولم توزع على المجموعات بطريقة عشوائية، فإنه من المحتمل أن يتم التوصل إلى استنتاجات خاطئة. وحتى الآن لم تكن دراسات الترابط الجغرافي ذات فائدة كبيرة بالنسبة إلى اللجنة. ومن أهم أسباب ذلك صعوبة العثور على مجموعات يكون الفرق في مستويات تعرضها للإشعاع كبيراً ومعروفاً بدقة والفرق في عوامل الالتباس الخاصة بها صغيراً.

٥٨ - وكي تحقق جميع أنواع الدراسات الوبائية نتائج ذات دلالة، ينبغي أن تصمم، وتنفذ وتفسر، بعناية. وعلاوة على ذلك، فإن الدراسات التي يتوقع أن تبين حصول زيادة مطلقة ضئيلة في الإصابة بالأمراض الموجودة الآن بشكل طبيعي، كالسرطان، يجب أن تكون واسعة النطاق إذا أريد الخروج منها بمعلومات هامة إحصائية. والدراسات الوبائية تخضع لقيدتين رئيسيتين: أحدهما قيد إحصائي يسبب أخطاء عشوائية، والآخر قيد ديموغرافي يسبب أخطاء منهجية.

٥٩ - وفي بلدان عديدة، تصل نسبة احتمال الوفاة بالسرطان على مدى العمر كله إلى ٢٠ في المائة تقريباً. فإذا قورنت مجموعتان من السكان كي يحدد بثقة، أثر تعرض إحداها لجراحة إشعاعية أعلى من الجرعة التي تتعرض لها الثانية، لزم أن يكون للفرق بينهما دلالة إحصائية. وبغية الكشف عن زيادة في معدل الوفيات، من ٢٠ في المائة إلى ٢٢ في المائة مثلاً، ينبغي ألا يقل عدد أفراد كل مجموعة عن ٥ ٠٠٠ فرد. فإذا توبعت المجموعتان إلى حين انقراضهما، سيلاحظ حدوث قرابة ١ ٠٠٠ وفاة بالسرطان في المجموعة غير

المعرضة للإشعاع وقاربة ١٠٠ ١ وفاة في المجموعة المعرضة. وسيتراوح حدا الثقة بنسبة ٩٠ في المائة للفرق بين صفر و ٢٠٠ تقريباً، وهذا أدنى ما له دلالة. ووفقاً للتقديرات الحالية للخطورة المحتملة، فإن مثل هذه الزيادة تنتج عن تعرض الجسم كله، مدى الحياة، لجرعة تبلغ حوالي ٠,٤ سيفيرت. وذلك يناظر زيادة بعامل مقداره ٥ في الجرعة النمطية الناجمة عن المصادر الطبيعية باستثناء الرادون (٠,٠١١ سيفيرت في السنة) والمستمرة طوال العمر البالغ ٧٠ سنة لدى المجموعة المعرضة (٠,٠١١ سيفيرت في السنة $٧٠ \times$ سنة $\times ٥$).

٦٠ - والقيد الثاني ينتج عن الحاجة إلى كفاءة تماثل المجموعة الخاضعة للدراسة والمجموعة المرجعية فيما يتعلق بعوامل الالتباس التي تؤثر في الإصابة بالسرطان. وما لم تؤخذ المجموعة الخاضعة للدراسة والمجموعة المرجعية من جماعة سكانية واحدة متجانسة، يندر أن يتسنى تيسر كفاءة تماثل المجموعتين، أو مراعاة الفروقات، بما يكفي من الدقة لكي يتبين، بثقة، حصول زيادة ضئيلة في معدل الوفيات الناجمة عن السرطان. وأي قصور في كفاءة التماثل بين المجموعة المرجعية والمجموعة الخاضعة للدراسة يمكن أن ينطوي على تحيز لا يمكن تقليله بمجرد توسيع حجم المجموعتين.

٦١ - واحتمال التحيز هذا هو الذي يحد كثيراً من قيمة دراسات الترابط الجغرافي للوفيات بين المجموعات المنفصلة جغرافياً كذلك التي تتناولها الدراسات المتعلقة بآثار التعرض لمستويات مختلفة من إشعاع الخلفية الكونية الطبيعي. وهذا يؤكد أهمية الدراسات الفوجية التي يمكن فيها تقسيم المجموعة الواحدة من السكان إلى مجموعات ذات مستويات مختلفة من التعرض للإشعاع. ولربما بقيت هنالك عوامل التباس تختلف بين مجموعة وأخرى، ولكن من المحتمل أن يكون عددها أقل مما هو بين المجموعات المنفصلة جغرافياً. أما المجموعات السكانية التي يمكن تقسيمها وفقاً لمستوى التعرض للإشعاع فتشمل مجموعة دراسة المدى العمري في هيروشيما وناغازاكي، ومجموعات المرضى الذين يخضعون للمعالجة الإشعاعية، وبعض المجموعات المهنية. ومن المهم، نتيجة لهذه القيود، تقدير جدوى أية دراسة وبائية قبل تخصيص الموارد لها.

٦٢ - والكثير من المعلومات الكمية التي توفرها الدراسات المجراة على تلك المجموعات السكانية يقتصر على الجرعات ومعدلات الجرعات المرتفعة نسبياً. ولا يمكن الحصول على تقديرات لأخطار الجرعات الصغيرة إلا عن طريق الاستقراء التنازلي من نتائج الجرعات المرتفعة. ونطاق هذا الاستقراء ليس واسعاً لأن الجرعات الصغيرة التي تستحق الاهتمام تكون مترابطة مع الجرعات التي تأتي من مصادر الإشعاع الطبيعية التي لا يمكن تجنبها.

٦٣ - وكانت اللجنة قد استعرضت بالتفصيل، في تقرير عام ١٩٨٨، المعلومات الخاصة بالجرعات المرتفعة والمستمدة من الدراسات الوبائية، مؤكدة على البيانات المتوفرة من هيروشيما وناغازاكي. ومن السابق لأوانه تكرار الاستعراض الشامل للبيانات اليابانية، غير أنه أمكن مراعاة البيانات الإضافية المتوفرة الآن وإعادة تقييم الاستنتاجات السابقة. وقد أجريت دراسة هامة لمختلف طرائق تفسير البيانات. وأجريت، بشكل خاص، دراسة استقصائية للنماذج المتاحة لإسقاط المخاطر المحتملة بغية إعطاء تقديرات بشأن احتمال الوفاة نتيجة للتعرض للإشعاع مدى العمر. واستعانت اللجنة كذلك بدراسات أخرى منها، خصوصاً، بعض البيانات المنشورة حديثاً عن آثار التعرض المهني لجرعات تتراوح بين معتدلة ومنخفضة. وهذه البيانات تكمل النتائج المنبثقة من دراسة

المدى العمري، إلا أنها لم تكتسب بعد الموثوقية الإحصائية التي تثيري التقديرات الكمية للمخاطر. والدراسات الوبائية لا توفر بيانات هامة عن أخطار الإشعاع عندما تكون الجرعات منخفضة. ولا بد من اثبات صحة الاستقراء الخاص بالجرعات المنخفضة عن طريق دراسات بيولوجية تجريبية. ولذلك فإن اللجنة تربط الدراسات الوبائية باستعراض شامل لآليات حدوث السرطان البشري ولآثار الجرعات ومعدلها على الاستجابات الإشعاعية. وقد أكدت النتيجة الإجمالية تقديرات المخاطر التي تضمنها تقرير اللجنة لعام ١٩٨٨.

٦٤ - ولقد أنجز الكثير من الأعمال، في جميع أنحاء العالم، بشأن الدراسات الوبائية، غير أن تراكم المعلومات الكمية بطيء بالضرورة. ومثال ذلك أن أكثر من نصف أفراد مجموعة الدراسة الموجودة في هيروشيما وناغازاكي لا يزالون على قيد الحياة، والزيادة التي لوحظت في الوفيات بالسرطان، وهي حوالي ٢٥٠ وفاة حتى الآن، ترتفع ببطء. وقد ركزت اللجنة وقتها ومواردها على إجراء مناقشات علمية مستفيضة لآثار الدراسات المتوفرة، ولم تعد مرفقا بشأن الأمراض الوبائية لنشره في الوقت الحاضر. وترد استنتاجات اللجنة بإيجاز في الفرع "ثانياً" - باء - ٢ من هذا التقرير.

ثالثاً - التقديرات الكمية لآثار الإشعاع

ألف - الكميات والوحدات

٦٥ - هناك حاجة إلى مجموعة محددة من الكميات لوصف وتعيين كمية الإشعاع وآثاره البيولوجية. وكانت تفاصيل كميات الإشعاع ووحداته، وتوضيحات الاشتقاقات والتنوعات في استخدام هذه المفاهيم، قد قدمت في تقرير اللجنة لعام ١٩٨٨. واستخدام اللجنة للكميات والوحدات يتوافق مع الممارسة الدولية المقبولة.

١ - قياس كميات الجرعات

٦٦ - تتصف النويدات المشعة بعدم استقرار تكوينات نواة الذرة. فهي تنحل في تحولات نووية تلقائية، مبعثة إشعاعاً. ويوصف معدل الانحلال المميز لكل نويدة مشعة بنصف عمرها، وهو الوقت الذي يفترض أن تحصل خلاله التحولات التلقائية في نصف عدد الذرات. ويعرف المعدل الذي تحدث به التحولات في كمية النويدة المشعة بتعبير النشاط. وتسمى وحدة هذا النشاط "بكريل". فإذا كان لكمية النويدة المشعة نشاط قدره بكريل واحد، فإن التحولات تحدث بمعدل تحول واحد في الثانية.

٦٧ - وتشكل الجرعة الممتصة إحدى الكميات الأساسية المستخدمة لتحديد كمية تفاعل الإشعاع مع المادة. والجرعة الممتصة هي الطاقة المنقولة إلى عنصر صغير من المادة مقسومة على كتلة ذلك العنصر. ووحدة الجرعة الممتصة تساوي جول لكل كيلوغرام، ويطلق عليها لهذا الغرض اسم غراي. وتستخدم اللجنة، لمعظم الأغراض، متوسط الجرعة الممتصة في نسيج أو في متعض كامل بدلاً من الجرعة الممتصة في نقطة معينة. ومعظم حالات التعرض للإشعاع تسبب امتصاص جرعات مختلفة في أجزاء مختلفة من جسم الإنسان. وللجرعات الممتصة من أنواع الإشعاع المختلفة فعالية بيولوجية مختلفة، كما أن لأعضاء الجسم وأنسجته حساسيات مختلفة.

٦٨ - وبالنسبة للجرعة الممتصة نفسها، تكون الإشعاعات الكثيفة التأين، مثل جسيمات ألفا، أكثر فعالية في إحداث الآثار البيولوجية، ولا سيما الآثار الاتفاقية، من الإشعاعات الخفيفة التأين مثل أشعة غاما أو الأشعة السينية أو الالكترونات (جسيمات بيتا). ومن المفيد الجمع بين الجرعات الممتصة المتأينة من أنواع مختلفة من الإشعاع بغية تحديد كمية أخرى تعرف باسم "الجرعة المكافئة". والجرعة المكافئة في النسيج أو العضو البشري هي الجرعة الممتصة مرجحة بعامل ترجيح إشعاعي يتراوح بين ١ للإشعاعات الخفيفة التأين و ٢٠ لجسيمات ألفا.

٦٩ - وتباين أعضاء الجسم وأنسجته المختلفة في استجابتها للتعرض للإشعاع. وبغية أخذ هذا الأمر في الاعتبار، تستخدم كمية أخرى هي الجرعة الفعالة. وتضرب الجرعة المكافئة، في كل نسيج أو عضو، في عامل ترجيح نسيجي، ويطلق على مجموع نواتج الضرب هذه في الجسم كله اسم "الجرعة الفعالة". والجرعة الفعالة هي مؤشر للضرر الإجمالي الناجم عن الآثار الاتفاقية الذي يلحق بالفرد المعرض للإشعاع وبذريته. وبما أن عامل الترجيح الإشعاعي وعامل الترجيح النسيجي هما كميتان ليس لهما تمييز، فإن الجرعة المكافئة والجرعة الفعالة لهما نفس تمييز الجرعة الممتصة، ونفس وحداتها، أي الجول لكل كيلوغرام. بيد أنه، لضمان التمييز الواضح بين الجرعة الممتصة ومشتقاتها المرجحة، اتفق على تسمية وحدة قياس الجرعة المكافئة ووحدة قياس الجرعة الفعالة باسم خاص هو "سيفيرت".

٧٠ - والتغيرات التي أدخلت على عاملي الترجيح الإشعاعي والنسيجي، في عام ١٩٩٠، تؤدي إلى تعقيد المقارنات بين التقديرات الجديدة والتقديرات السابقة للجرعة. وبصفة عامة، لم تحاول اللجنة أن تعيد تقييم البيانات القديمة باستخدام الكميات الجديدة، لأن التغيرات صغيرة في العادة. ويشار في النص إلى المواضع التي حدثت فيها إعادة تقييم.

٧١ - وتنطبق مفاهيم كل من الجرعة الممتصة والجرعة المكافئة والجرعة الفعالة على الفرد أو الفرد المتوسط. واللجنة تستخدم كذلك مفهوم الجرعة الفعالة الجماعية، وهي الجرعة المتوسطة التي تتعرض لها فئة سكانية أو مجموعة من الأفراد، مضروبة في عدد أفراد المجموعة. وتحدد هذه الكمية بالنسبة إلى مصدر معين أو وحدة ممارسة معينة. وقد تشير هذه الكمية إلى مجموع الجرعات الصادرة في المستقبل عن ذلك المصدر أو وحدة الممارسة تلك، كما هو الحال، مثلاً، بالنسبة للجرعة الفعالة الجماعية الصادرة عن التفجيرات النووية الجوية أو عن التعرض للأشعة الطبية لمدة سنة. فإذا كان احتمال الآثار الآجلة متناسبا مع الجرعة الفعالة في حالة الجرعات المنخفضة، وهو الأمر المحتمل حصوله، تصبح الجرعة الفعالة الجماعية مؤشراً للضرر الإجمالي الممكن عزوه إلى تلك الجرعات والمتوقع حدوثه في تلك المجموعة والمنحدرين منها. وإذا كانت الجرعات الفردية التي تتألف منها الجرعة الجماعية تشمل نطاقاً عريضاً من القيم وتمتد على فترات زمنية طويلة جداً، فإن تقسيم الجرعة الجماعية إلى أجزاء تشمل نطاقات أضيق من الجرعات الفردية والمراحل الزمنية سيوفر قدراً أكبر من المعلومات. ووحدة الجرعة الفعالة الجماعية هي "رجل سيفيرت".

٧٢ - وقد ينتج عن بعض الأحداث، وخاصة الأحداث المتصلة بانطلاق مواد مشعة في البيئة، تعرض طويل الأمد يمتد أحياناً إلى أجيال عديدة. وفي هذه الحالات، تبقى الجرعة الجماعية كمية مفيدة شريطة أن يوضح أن الجرعة الجماعية هي الجرعة الصادرة من المصدر أو وحدة الممارسة المعنيين. وبغية إعطاء مؤشر للجرعة

الصادرة الى الفرد العادي الافتراضي، الآن وفي المستقبل، تستخدم اللجنة مفهوم الجرعة الصادرة، وهو عبارة عن تكامل متوسط معدل الجرعة الفردية الناجمة عن الحدث التي تتعرض لها مجموعة معينة هي سكان العالم في أغلب الأحوال، على مدى فترة زمنية غير محددة (أو فترة محددة). والجرعة المشار إليها تكاد تكون دائما هي الجرعة الفعالة. ومفهوم الجرعة الصادرة مفيد جدا في تقدير العواقب الطويلة الأجل للأحداث التي تقع ضمن فترة محدودة، مثل سلسلة التفجيرات النووية الجوية. ووحدة قياس الجرعة الفعالة الصادرة هي السيفيرت.

٢ - الخطورة المحتملة والضرر

٧٣ - احتاجت اللجنة كذلك الى اتباع اسلوب متسق لكي تصف كميا احتمال وقوع الآثار الاتفاقية للتعرض للإشعاع وشدتها. ويستخدم مصطلح الخطر المحتمل على نطاق واسع في هذا الإطار، ولكن دون اتساق كاف. فهو يستخدم أحيانا بمعنى احتمال تحقق نتيجة غير مرغوب فيها، وفي أحيان أخرى، بمعنى احتمال تحقق النتيجة وشدتها معا. ولهذا السبب، حاولت اللجنة تفادي استخدام مصطلح الخطر المحتمل إلا في الصيغ الثابتة مثل "الخطر المحتمل النسبي الزائد" و "النموذج التضاعفي لاسقاطات الخطر المحتمل".

٧٤ - ومن المفاهيم الهامة لدى اللجنة احتمال الإصابة بالسرطان القاتل نتيجة لزيادة التعرض للإشعاع. ويختلف الاحتمال السنوي باختلاف الوقت الذي ينقضي بعد التعرض للإشعاع، وأكثر التعابير التلخيصية فائدة هو الاحتمال، المحسوب على مدى العمر بكامله، للوفاة المبكرة نتيجة للتعرض الإضافي للإشعاع. وهذا المفهوم ليس بسيطا لأن احتمال الوفاة، محسوبا على مدى العمر بكامله، هو دائما الواحد الصحيح. وأي تعرض إضافي لخطر يزيد احتمال الوفاة الناجمة عن سبب واحد، يؤدي الى تخفيض العمر المتوقع واحتمال الوفاة لأي سبب آخر.

٧٥ - ولأغراض اللجنة فإن أنسب كمية تعبر عن احتمال الوفاة، على مدى العمر، نتيجة للتعرض للإشعاع هي احتمال الوفاة بسبب التعرض للإشعاع، وتسمى أحيانا "احتمال الإصابة على مدى العمر بالسرطان المعزو لسبب. وهذه الكمية تأخذ في الاعتبار أن أسبابا أخرى للوفاة قد تتدخل قبل أن يكون من الممكن تحديد احتمال الوفاة نتيجة التعرض للإشعاع.

٧٦ - وبما أن أثر التعرض الإضافي للإشعاع هو انخفاض العمر المتوقع وليس ازدياد احتمال الوفاة فإن الاحتمال المعزو لسبب ليس مؤشرا كافيا لأثر التعرض. ولذلك قامت اللجنة أيضا، لدى تلخيص الضرر على أساس كل وحدة تعرض باستخدام متوسط فترة العمر الضائعة لو حدثت وفاة معزوة إلى السرطان. ويشكل الجمع بين هذه الفترة والاحتمال المعزو، على مدى العمر، طريقة لقياس متوسط الفترة الضائعة من العمر المتوقع. ويمكن استخدام جميع هذه الكميات لتقدير عواقب التعرض لمرة واحدة، أو باستمرار، الذي ينتج عنه تلقي جرعة معروفة. وإذا كان التعرض محصورا ضمن نطاق تكون فيه العلاقة بين الجرعة والاستجابة علاقة خطية تقريبا، فإنه من الممكن أيضا حساب الكميات لكل وحدة جرعة. وعندما يكون من الواضح أن العلاقة غير خطية، فإنه يمكن تحديد الكميات على أساس جرعة محددة هي عادة جرعة فعالة قدرها سيفيرت واحد.

٧٧ - ولأغراض الحماية استخدمت اللجنة الدولية المعنية بالحماية من الإشعاع نهجا أكثر تعقيدا بشأن الضرر، وهو نهج يأخذ في الاعتبار ما يعزى للتعرض من احتمال إصابة أعضاء الجسم المختلفة بسرطان قاتل، والضرر الإضافي الناجم عن السرطان غير القاتل والاختلالات الوراثية، واختلاف فترات مكون مختلف أنواع السرطان. وهذه السمات جميعها مشمولة باختيار عوامل الترجيح المتعلقة بتحويل الجرعة المكافئة إلى جرعة فعالة.

٧٨ - وعلى هذا فإن معامل الربط بين احتمال الإصابة بسرطان قاتل والجرعة المكافئة هو دالة للتوزيع العمري والجنسي للمجموعة المتعرضة ولأي اختلافات إثنية فيما بينها. ومع ذلك وجدت اللجنة أنه يكفي، لمعظم أغراضها، استخدام القيم الإسمية التي تعتمد عليها اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع على اعتبار أن هذه القيم هي، بالضرورة قيم تقريبية، وخاصة في حالة تعرض المرضى الطبي.

باء - الآثار التي تصيب الإنسان

٧٩ - يمكن تصنيف آثار الإشعاع المبينة في الفرع ألف من الفصل الأول إما كأثار قطعية أو آثار اتفاقية من جهة، وجسدية أو وراثية من جهة أخرى. وجميع الآثار القطعية هي آثار جسدية، أي أنها تصيب الفرد المعرض للإشعاع، بينما الآثار الاتفاقية يمكن أن تكون جسدية (كالسرطان الذي يسببه الإشعاع مثلاً)، أو وراثية.

٨٠ - والآثار القطعية كانت كثيرة التواتر في الأيام الأولى لاستخدام الإشعاعات. فخلال الفترة الواقعة بين اكتشاف الأشعة السينية وأوائل الثلاثينيات، عندما بدأ استخدام التدابير الوقائية، توفى من جراء الآثار القطعية أكثر من مائة اختصاصي أشعة. وبالإضافة إلى ذلك، وقعت إصابات عديدة بفقر الدم وتلف الجلد. وبعد البدء في استخدام التدابير الوقائية، أصبحت هذه الآثار أقل تواتراً، وهي لا ترى الآن إلا في حالة الحوادث أو كأثر جانبي للعلاج بالأشعة.

٨١ - وقد اكتشف علم الأوبئة عملية استحثاث السرطانات وأجري قياساً كمياً لها في عدة مجموعات سكانية معرضة للإشعاع. ويبدو أن استحثاث السرطان هو التأثير الجسدي الاتفاقي الوحيد للإشعاع. والآثار الوراثية للإشعاع لم تحدد بعد وبأثبات في الإنسان ولكن وجودها لا شك فيه. ويمكن التعرف على تلك الآثار في جميع أشكال الحياة الحيوانية والنباتية التي بحث عنها فيها، ما عدا الإنسان. ويعود السبب في انعدام الأدلة الباثية إلى طول الوقت الفاصل بين الأجيال وإلى كبر عدد الأشخاص اللزمين لاكتشاف تلك الأدلة إحصائياً.

١ - الآثار القطعية

٨٢ - تختلف الأنسجة في استجابتها القطعية للإشعاع. وأنسجة المبيض والخصية وعدسة العين ونخاع العظام هي من أكثر الأنسجة حساسية. ويبلغ الحد الذي يحصل عنده عقم مؤقت لدى الذكر، نتيجة للتعرض، مرة واحدة للإشعاع، حوالي ٠,١٥ غراي، بينما يبلغ معدل الجرعة الحدية، في حالات التعرض الطويل الأجل، حوالي ٠,٤ غراي في السنة. أما القيمتان المقابلتان الخاصتان بالعقم الدائم فتتراوح أولاهما بين ٣,٥ غراي و ٦ غراي

(حالات التعرض الحادة)، وتبلغ القيمة الثانية ٢ غراي في السنة (حالات التعرض المزمن). ويتراوح معدل الجرعة الحدية المسببة للعقم الدائم لدى النساء بين ٢,٥ غراي و ٦ غراي في حالة التعرض الحاد، مع اشتداد الحساسية لدى من يقتربن من سن الأياس. أما في حالات التعرض الذي يستمر سنوات عديدة فيبلغ معدل الجرعة الحدية حوالي ٠,٢ غراي في السنة. وتنطبق هذه الحدود، مثلها مثل جميع حدود الآثار القطعية، على الأشخاص الذين هم في حالة صحية عادية. أما بالنسبة الى الأفراد الذين يوشك أن يظهر عندهم الأثر لأسباب أخرى فإن الحد يقل عن ذلك. وحتى في الحالة القصوى التي يكون الأثر فيها موجودا، تظل هناك عتبة تمثل جرعة الاشعاع اللازمة لإحداث تغيير ملحوظ في حالة الفرد.

٨٣ - والعتبة بالنسبة لإعتام عدسة العين الكافي لإحداث خلل بصري بعد فترة من الزمن، تتراوح بين ٢ غراي و ١٠ غراي في الإشعاعات الخفيفة التآيين (ومن ١ غراي إلى ٢ غراي تقريبا في الإشعاعات الكثيفة التآيين)، وذلك في حالات التعرض الحاد. ومعدل عتبة الجرعة غير معروف جيدا بالنسبة الى حالات التعرض المزمن الطويل الأجل، ولكن من المحتمل أن يكون ذلك المعدل أكبر من ٠,١٥ غراي في السنة في الإشعاعات الخفيفة التآيين.

٨٤ - وفيما يتعلق بحالات التعرض الحاد لنخاع العظام بكامله، تبلغ عتبة الجرعة لتباطؤ تكون الدم، على نحو يعتبر شديدا اكلينيكيًا، حوالي ٠,٥ غراي. أما معدل عتبة الجرعة المقابلة في حالة التعرض الطويل الأجل فتزيد إلى حد ما على ٠,٤ غراي في السنة. ويشكل قصور نخاع العظام مكونا هاما من متلازمة الاشعاع التي تلي تعرض الجسم بكامله. وأي جرعة حادة تتراوح بين ٣ غراي و ٥ غراي يتعرض لها الجسم بكامله تتسبب في وفاة ٥٠ في المائة من أفراد مجموعة الأشخاص المعرضين إذا لم يتلقوا علاجًا طبيا محددا.

٨٥ - وفي حالات تعرض الجلد للاشعاع، تتراوح العتبة اللازمة لظهور الحمامى والتقشر الجاف بين ٣ غراي و ٥ غراي، وتظهر الأعراض بعد التعرض بثلاثة أسابيع. ويحدث التقشر الرطب بعد جرعة تبلغ حوالي ٢٠ غراي، مع ظهور التقرحات بعد التعرض بحوالي شهر واحد. أما نخر الأنسجة، الذي يظهر بعد ثلاثة أسابيع، فإنه يحدث بعد جرعة تزيد على ٥٠ غراي.

(أ) الآثار التي تصيب المخ النامي

٨٦ - لم تبرز الدراسات التي أجريت في هيروشيما وناغازاكي سوى أثرين واضحين في نمو المخ وتطوره. ففي بعض الحالات حصل تخلف عقلي شديد، وفي حالات أخرى لوحظ صغر في حجم الرأس دون وجود تخلف عقلي ظاهر. وبالإضافة إلى ذلك، فإن مستويات الذكاء لبعض فئات من تعرضوا للإشعاع وهم في الرحم كانت أقل من المتوسط، وكان أداء الأفراد في المدرسة سيئا.

٨٧ - ولوحظ مزيد من التخلف العقلي الشديد لدى بعض الأطفال الذين تعرضوا للإشعاع وهم في الرحم في هيروشيما وناغازاكي. وفي حين أنه لم يلاحظ أي تخلف عقلي في حالات التعرض للإشعاع قبل مرور ثمانية أسابيع على الحمل فقد استدل على وجود فترة حساسية تتراوح بين ٨ أسابيع و ١٥ أسبوعا تعقبها فترة حساسية أقل تتراوح بين ١٦ و ٢٥ أسبوعا بعد الحمل.

٨٨ - ووفقا لما جرى بحثه في الفرع ألف، ٢ (أ) من الفصل الأول فإنه يعتقد أن آلية استحثاث التخلف العقلي تتمثل في نقص الوصلات الوظيفية للخلايا العصبية الموجودة في قشرة المخ، وهو نقص يتوقف على الجرعات. وهذا النقص في الوصلات يسبب انتقالا انحداريا (انتقالا إلى اليسار) لتوزيع معامل الذكاء تقدر قيمته بحوالي ٣٠ نقطة لكل سيفيرت بالنسبة إلى حالات التعرض في الفترة من الأسبوع الثامن إلى الخامس عشر.

٨٩ - ولتوزيعات معامل الذكاء العادي قيمة متوسطة يفترض أنها تبلغ ١٠٠ نقطة وانحراف معياري يقارب ١٥ نقطة. أما المنطقة الواقعة إلى يسار الانحرافين المعياريين عن المتوسط، أي القيم التي يقل فيها معامل الذكاء عن ٧٠ نقطة، فإنها تناظر التعريف الاكلينيكي للتخلف العقلي الشديد. والتحول المستحث بالإشعاع لجرعة مقدارها سيفيرت واحد، يؤدي إلى تخلف عقلي شديد لدى حوالي ٤٠ في المائة من الأفراد المعرضين لهذا الإشعاع.

٩٠ - غير أنه إذا أخذ في الاعتبار شكل التوزيع الغاوسي، فإن الجزء من الحالات الإضافية الذي ينجم عن التحول الذي تستحثه جرعة صغيرة سيكون أقل كثيرا عن الجزء الذي يحسب مباشرة انطلاقا من وجود علاقة خطية بنسبة ٤٠ في المائة لكل سيفيرت (أقل بحوالي رتبة عظم واحدة). أما الجرعة التي تلزم لكي يحدث في معامل الذكاء تحول هو من الضخامة بحيث يكفي لجعل شخص عادي يصاب بتخلف عقلي شديد، فإنها ستكون مرتفعة (في حدود سيفيرت واحد أو أكثر)، في حين أن الجرعة التي تلزم لجعل شخص ذي معامل ذكاء منخفض، بدون التعرض للإشعاع، ينتقل إلى فئة شديدي التخلف، بعبور الحد الفاصل، فيمكن أن تبلغ بضعة أعشار من السيفيرت.

(ب) الآثار التي تصيب الأطفال

٩١ - كثيرا ما يكون للآثار القطعية المستحثة بالإشعاع في سن الطفولة، عندما تكون الأنسجة ناشطة في النمو، وطأة أشد من وطأتها بعد النضج. ومن الأمثلة على التلف القطعي الناجم عن التعرض للإشعاع في سن الطفولة، ما يلي: الآثار التي تصيب النمو والتطور، وتعطل الأعضاء، ونقص الهرمونات وما يترتب عليه، والآثار التي تصيب الوظائف الإدراكية. ويأتي معظم المعلومات من المرضى الذين تلقوا معالجة بالأشعة، وهو يستخرج بأساليب تحليلية جديدة وبرصد دقيق مستمر. وقد استعرضت اللجنة هذه المعلومات لتحديد طبيعة الآثار التي تصيب مختلف الأنسجة ومقدار الجرعات المسببة لهذه الآثار.

٩٢ - وهناك الكثير من العوامل التي تعقد دراسة العلاقة بين الجرعة والآخر. ومن تلك العوامل المرض الأساسي وطريقة المعالجة، التي كثيرا ما تشتمل على الجراحة والمعالجة الكيميائية بالإضافة إلى المعالجة بالأشعة. ولهذه الأسباب لا تزال ثمة شكوك قوية تحوم حول تقديرات فئات الجرعات لدى الأطفال الأصحاء. ولا يمكن أن تتوفر عن مستويات هذه العتبات إلا مؤشرات عامة. وما لم يذكر خلاف ذلك، تكون الجرعات ناتجة عن تعرض مجزأ.

٩٣ - وآثار الإشعاع على الخصية والمبيض تتوقف على السن والجرعة. إذ يمكن أن تتعرض وظيفة الخصية للخطر بجرعات قدرها ٠,٥ غراي. وببلوغ الجرعات ١٠ غراي يحدث قصور في الغدد التناسلية لدى معظم الصبيان المعرضين للأشعة. وفيما يتعلق بالفتيات، ينقطع الطمث لدى نسبة ضئيلة منهن في أعقاب التعرض

لجرعات قدرها ٠,٥ غراي، وتزداد هذه النسبة إلى حوالي ٧٠ في المائة إذا بلغت الجرعات ٢ غراي. ويحدث العقم في حوالي ٢٠ في المائة من الحالات في أعقاب التعرض لجرعات قدرها ٤ غراي. والجرعة التي تصل إلى ٢٠ غراي تؤدي إلى عقم دائم في جميع الحالات.

٩٤ - ويصيب التلف أعضاء أخرى عديدة نتيجة لجرعات تتراوح بين ١٠ غراي و ٢٠ غراي. وخلافا لذلك يمكن أن يحدث تلف في الغدة الدرقية نتيجة لجرعات لا تتعدى غراي واحدا. وقد لوحظت عدة آثار في المخ، بما في ذلك ضمور قشرته، بعد جرعة واحدة قدرها ١٠ غراي، أو جرعة متراكمة قدرها ١٨ غراي معطاة في حوالي ١٠ أجزاء. ويتأثر نظام الغدد الصماء بالإشعاع، فيظهر بوضوح خلل في إفراز هورمونات النمو نتيجة لجرعات مجزأة قدرها ١٨ غراي. وقد أدى تلقي الغدة الدرقية لجرعات تقارب غراي واحدا على مدى أسبوعين إلى قصور درقي لدى مرضى يعالجون بتسليط الأشعة على الجمجمة. ولوحظ حصول اعتام في عدسة العين وخلل في نمو الثديين نتيجة لجرعة قدرها ٢ غراي.

٩٥ - وجرى تحديد الآثار القطعية والتعبير الكمي عنها في عدة أعضاء أخرى. فقد تبين أن السعة الإجمالية للرئة تنقلص نتيجة لجرعات قدرها ٨ غراي، كما ظهرت تغيرات في اتجاه تضيق الرئة نتيجة لجرعات قدرها ١١ غراي. ويكفي التعرض خمس مرات في الأسبوع على مدى ستة أسابيع لجرعة إجمالية تزيد على ١٢ غراي لكي يحدث تلف في الكبد، كما يكفي تلقي جرعات تقارب ١٢ غراي لفترة ممتدة لإحداث تلف في الكلى. وقد أبلغ عن حصول التهاب في الكلى بسبب الإشعاع في حالة التعرض لجرعة قدرها ١٤ غراي. والتعرض لجرعة تتجاوز ٢٠ غراي يؤدي إلى توقف تكون العظام، بينما تحدث آثار جزئية في أعقاب التعرض لجرعات تتراوح بين ١٠ غراي و ٢٠ غراي، ولا تحدث أي آثار في الجرعات التي تقل عن ١٠ غراي. ويلاحظ حدوث تلف في عضلة القلب، يؤدي إلى قصور من الناحية الإكلينيكية، بعد التعرض لجرعة قدرها حوالي ٤٠ غراي.

٢ - السرطان المستحث بالإشعاع

٩٦ - وبلاستناد إلى المعلومات الإحصائية الإشعاعية، يمكن تكوين نماذج ميكانيكية لاستحثاث السرطان بالإشعاع؛ وهذه النماذج تشير إلى اختيار دالة العلاقة بين الجرعة والاستجابة. وعلم الأوبئة البشرية يوفر البيانات التي يلزم تفسيرها بالاستعانة بهذه النماذج التي تتسم بأهمية خاصة في استقراء البيانات حتى بلوغ منطقة الجرعة المنخفضة، التي تنعدم فيها البيانات الوبائية أو تكون مفتقرة كثيرا للدقة.

٩٧ - وبما أنه يندر أن تستمر مراقبة العينة السكانية المعرضة للإشعاع مدى الحياة، فإنه يتعين في العادة، إسقاط تواتر حالات السرطان المستحث التي تلاحظ خلال فترة المراقبة على مدى حياة السكان المعرضين، وذلك بغية تحديد خطورة التعرض مدى الحياة. ويستخدم لهذا الغرض نموذجان رئيسيان أحدهما هو نموذج الإسقاط المطلق أو الجمعي، والآخر هو نموذج الإسقاط النسبي أو التضاعفي.

٩٨ - والنموذج المطلق (الجمعي) البسيط يفترض حصول زيادة ثابتة (متصلة بالجرعة) في السرطان المستحث، طوال العمر ولا صلة لها بمعدل الإصابة بالسرطان التلقائي المعتمد على السن. والنموذج النسبي

(التضاعفي) البسيط يفترض أن معدل الإصابة بأنواع السرطان المستحث سيزداد مع ازدياد السن باعتباره مضاعفا ثابتا (متصلا بالجرعة) لمعدل السرطان التلقائي. ويمكن توسيع النموذجين لإحلال دالتي السن عند التعرض والوقت المنقضي منذ التعرض محل القيم الثابتة.

٩٩ - والنموذج الجمعي البسيط لم يعد ينظر إليه على أنه مستق مع معظم عمليات الرصد الوبائية، ويبدو أن المعلومات الإحصائية الإشعاعية تفضل عليه النموذج التضاعفي. بيد أنه تجدر ملاحظة أن أيا من النموذجين البسيطين لا يتفق مع جميع المعلومات؛ ومثال ذلك أن النموذج المضاعف يصطدم بصعوبات في حالة تعرض الأطفال الصغار، كما أنه لا يوجد اتساق بين أي من نموذجي الإسقاط البسيطين والبيانات المتعلقة بسرطان الدم أو سرطان العظام.

١٠٠ - وقد درست اللجنة ثلاثة نماذج إسقاط لأنواع السرطان الجامد. النموذج الأول هو النموذج البسيط الذي يستخدم عاملا ثابتا للخطورة المحتملة الزائدة. ويستخدم النموذجان الثاني والثالث عاملا متناقضا للفترات الزمنية التي تزيد على ٤٥ عاما بعد التعرض. ومع أن خطر احتمال الإصابة بسرطان الدم لم يقدر تماما بعد لدى اليابانيين الباقين على قيد الحياة، فإن الخطر المتخلف هو الآن من الضالة بحيث لم يعد يلزم استخدام نماذج إسقاط مختلفة.

١٠١ - والنموذجان اللذان يستخدمان عوامل متناقضة للخطر المحتمل النسبي يقللان تقديرات الخطر المحتمل على مدى الحياة بعد التعرض لمرة واحدة بعامل يساوي ٢ تقريبا للتعرض في العقد الأول من العمر، وبعامل قدره ١,٥ للتعرض في العقد الثاني؛ وبأثر ضئيل في الأعمار التي تكون أكبر من ذلك وقت التعرض. وبما أن الاحتمال يقل مع تقدم العمر، فإن هذين النموذجين يبينان، بالنسبة إلى كل سرطان معزو إلى الإشعاع، ضياعا في العمر يفوق الضياع الذي يبينه النموذج البسيط.

١٠٢ - وأحد العناصر الهامة في تقدير الأخطار المحتملة للإصابة بالسرطان نتيجة للإشعاع المنخفض الجرعات هو عامل الانخفاض الذي يستخدم لتعديل التوافق الخطي (غير الحدي) المباشر مع البيانات الوبائية المتصلة بالجرعات المرتفعة وبمعدل الجرعات المرتفعة بغية تقدير انحدار المكون الخطي للدالة الخطية التربيعية. واستنادا إلى المعلومات الإحصائية - الإشعاعية الأساسية والدراسات الحيوانية والبيانات المتصلة باستحثاث السرطان في الإنسان، يقدر الآن، والتقدير مشكوك فيه كثيرا، أن هذا العامل يساوي ٢ تقريبا لنطاق الجرعات الذي تستمد منه غالبية البيانات الوبائية. ونتائج علم الأوبئة لا تستبعد هذه القيمة، ولكنها لا تؤيدها إلا بالنسبة إلى سرطان الدم.

١٠٣ - وقد استخلصت اللجنة في تقرير عام ١٩٨٨ معاملات الخطورة المحتملة (الخطورة المحتملة لوحدة الجرعة) في حالات الجرعات ومعدلات الجرعات المرتفعة التي تتعرض لها الأنسجة المختلفة. ولأغراض هذا التقرير، يكفي بحث الخطورة المحتملة الإجمالية للوفاة بالسرطان عندما يكون الجسم كله معرضا للإشعاع.

١٠٤ - وفي السنوات الأخيرة، جرى الإبلاغ عن دراسات وبائية تناولت الأشخاص المعرضين للإشعاع بحكم مهنتهم، والمجموعات السكانية الموجودة في مناطق معرضة لمستويات مختلفة من اشعاعات الخلفية الكونية،

وأشخاصا معرضين للإشعاع نتيجة انطلاق مواد مشعة في بيئتهم. وينبغي أن تكون تلك الدراسات كبيرة الحجم وشاملة لفترات طويلة، لكي تستخلص منها معلومات كمية مفيدة عن عواقب التعرض للإشعاع. ومن الناحية التاريخية فإن الدراسات المتعلقة بسرطان الرئة المتصل بالرادون، الذي يصيب عمال التعدين، هي وحدها التي تبين علاقات كمية. وهذه العلاقات خاصة بالرادون وحده. كذلك فإن الدراسات المتعلقة بالعمال الذين يتعرضون لعدة أنواع من الإشعاع أثناء عملهم هي، في الوقت الحاضر، التي تبشر بالنجاح أكثر من غيرها. وقد بدأت تلك الدراسات تعطي نتائج إيجابية.

١٠٥ - والموثوقية الإحصائية لتلك الدراسات لا تزال ضعيفة، إلا أنها ستزداد مع الزمن نتيجة لتراكم البيانات. ونتائج تلك الدراسات تتوافق مع النتائج المستمدة من الدراسات المتعلقة بالجرعات ومعدلات الجرعات المرتفعة، لكنها لا تعطي أي مؤشر على أن التقديرات الحالية تقلل من شأن الأخطار.

١٠٦ - والبيانات تشير الآن، بنسبة معقولة من اليقين، إلى أن خطر الإصابة بسرطان المحتمل المرتبط بتلقي جرعات مرتفعة من الإشعاعات الخفيفة التأيين يناهز ثلاثة أضعاف ما قُدِّر به قبل عقد من الزمن. فتقدير عام ١٩٨٨ لاحتمال الإصابة بسرطان قاتل، على مدى العمر، وهو تقدير استخدم فيه نموذج الإسقاط المضاعف، أي النموذج المفضل، كان 11×10^{-2} لكل سيفيرت بالنسبة إلى السكان المعرضين في هيروشيما وناغازاكي، الذين لا يزال أكثر من نصف المشمولين منهم بالدراسة الوبائية أحياء. وتقديرات اللجنة لا تتعلق إلا بالسكان اليابانيين الممثلين بفوج دراسة مدى العمر. وإجراء هذه الدراسات مستمر، لكن المعلومات لا تزال غير كافية لاقتراح إجراء تغيير في تقديرات الخطورة المحتملة.

١٠٧ - وقد بحثت اللجنة العامل الذي ينبغي استعماله لتخفيض تقديرات الخطورة المستخلصة من الدراسات المتعلقة بالجرعات المرتفعة عندما يستعان بتلك التقديرات لاشتقاق تقديرات تتعلق بالجرعات المنخفضة. ولا يمكن إيراد رقم وحيد، لكن من الواضح أن العامل صغير. والبيانات المستمدة من الدراسات اليابانية تعطي قيمة لا تتجاوز ٢. وباستخدام عامل مقداره ٢، يتم الحصول على قيمة مقدارها 5×10^{-2} لكل سيفيرت فيما يتعلق باحتمال الإصابة على مدى العمر بأنواع السرطان القاتلة الناجمة عن تعرض مجموعة سكانية إسمية تضم جميع الأعمار، للإشعاع. كذلك ستظهر قيمة متوسطة أصغر، تقارب 4×10^{-2} لكل سيفيرت، بالنسبة إلى السكان العاملين (المتراوحة أعمارهم بين ١٨ سنة و ٦٤ سنة) الذي يتعرضون للإشعاع أثناء حياتهم العملية. وتقتراح اللجنة تطبيق عامل تخفيض لكل الجرعات التي تقل عن ٠,٢ غراي وللجرعات التي تزيد عن ذلك عندما يكون متوسط معدل الجرعة، على مدى بضع ساعات، أقل من ٦ مليغراي في الساعة.

٣ - الآثار الوراثية

١٠٨ - لم يكتشف علم الأوبئة، بدرجة من الثقة لها دلالة إحصائية، الآثار الوراثية للإشعاع الذي يصيب البشر. وتقدير الخطورة المحتملة المستند إلى دراسة الحيوانات هو من الضالة بحيث أنه لو وجد أثر له دلالة إحصائية بين مجموعة السكان التي تجري دراستها في هيروشيما وناغازاكي لكان ذلك أمرا مثيرا للدهشة. ومع ذلك فإنه ليس ثمة شك في وجود آثار وراثية تصيب الإنسان. وبالتالي فإن تقدير الخطورة يعتمد على إجراء تجارب

وراثية على مجموعة واسعة من المتعضيات، كما يعتمد على دراسات للخلايا تدعمها، على نطاق محدود، النتائج السلبية المستخلصة من الدراسات التي تجرى على البشر.

١٠٩ - وقد استخدمت اللجنة في تقدير الخطورة المحتملة الوراثة طريقتين مختلفتين اختلافا كبيرا، أحدهما طريقة الجرعة المضاعفة (أو الطريقة غير المباشرة). وقد استثنى هذا التقدير الاختلافات المتعددة العوامل. وفيما يتعلق بالسكان القادرين على التناسل، أعطيت، بالنسبة لجميع الأجيال، قيمة للخطورة المحتملة مقدارها 10^{-2} لكل سيفيرت بعد التعرض للإشعاع أو إذا أريد التعبير عن الخطورة المحتملة بنفسها بطريقة أخرى، 10^{-2} لكل جيل على أساس حصول تعرض مستمر للإشعاع قدره سيفيرت واحد لكل جيل. وقدّر أن الخطورة المحتملة المقابلة بالنسبة لأول جيلين يليان التعرض للإشعاع هي 10^{-3} لكل سيفيرت لدى شريحة السكان القادرة على التناسل.

١١٠ - أما الطريقة الأخرى التي استخدمتها اللجنة لتقدير الخطورة المحتملة الوراثة فهي الطريقة المباشرة. وهذه الطريقة تنطبق على الاختلالات التي تتسم بالأهمية من وجهة النظر الإكلينيكية وتظهر في الجيل الأول من ذرية الوالدين المعرضين للإشعاع. وقد تراوح تقدير الخطورة بين 10^{-2} و 10^{-4} لكل سيفيرت لدى مجموعة السكان القادرة على التناسل. ومما يدعو للاطمئنان أن الطريقتين المختلفتين المتبعتين في تقدير الخطورة الوراثة تعطيان تقديرات تتشابه تشابها معقولا.

١١١ - وثمة عدد كبير من الأمراض والاختلالات التي ترجع إلى أسباب معقدة ومتعددة العوامل. وبالإضافة إلى هذا فإن الأمراض الوراثة تنتقل بواسطة عدد من الآليات غير التقليدية التي لم تُعرف إلا حديثا. وأثر الإشعاع في الإصابات بهذه الأمراض المتعددة العوامل والمنقولة بصورة غير تقليدية هو أثر افتراضي إلى حد بعيد، ولكنه قد يكون ضئيلا. وهناك حاجة إلى مزيد من البحث ليصبح في الإمكان استخلاص تقديرات الخطورة المحتملة المتعلقة بجميع الآليات التي يمكن أن تتسبب في إصابة ذرية الأفراد المعرضين للإشعاع بالأمراض.

رابعا - مصادر التعرض للإشعاع

ألف - أساس المقارنات

١١٢ - يأتي الإشعاع الذي يتعرض له البشر من مصادر بالغة التنوع. وتتسم بعض هذه المصادر بأنها خصائص طبيعية للبيئة، في حين أن البعض الآخر ناجم عن أنشطة بشرية. والإشعاع المتأتي من المصادر الطبيعية يشمل الإشعاع الكوني، والإشعاع الخارجي الصادر عن النويدات المشعة الموجودة على سطح الأرض، والإشعاع الداخلي الصادر عن النويدات المشعة التي تستنشق أو تبتلع وتبقى في الجسم. ويتوقف حجم هذه التعرضات الطبيعية على الموقع الجغرافي وعلى بعض الأنشطة البشرية. والارتفاع عن سطح البحر يؤثر في معدل الجرعات الصادرة عن الإشعاع الكوني؛ كما أن الإشعاع الصادر عن سطح الأرض يتوقف على التكوينات الجيولوجية المحلية. أما الجرعات المتأتية من غاز الرادون الذي ينفذ من سطح الأرض إلى المساكن فإنها تتوقف على التكوينات الجيولوجية المحلية وعلى بنية المساكن وتهويتها. والتعرضات الناجمة عن الأشعة الكونية وعن أشعة

غامما الأرضية وعن الابتلاع لا تتغير مع مرور الزمن إلا قليلا، ولذا فإنه يمكن النظر إليها باعتبارها تشكل التعرض البيئي الأساسي المتأني من المصادر الطبيعية.

١١٣ - ومصادر الإشعاع التي هي من صنع الإنسان تشمل معدات الأشعة السينية، ومسارعات الجسيمات النووية، والمفاعلات النووية المستخدمة في توليد الطاقة الكهربائية والبحوث وفي إنتاج النويدات المشعة التي تستخدم بعدئذ في الطب والبحوث والعمليات الصناعية. والتجارب التي أجريت فيما مضى، في الجو، على النبايط النووية، لا تزال تمثل مصدرا للتعرض على نطاق العالم. والتعرض المهني، أي تعرض العاملين، منتشر على نطاق واسع، ولكنه لا يمس سوى فئات قليلة العدد.

١١٤ - ويمكن اعتبار بعض مصادر التعرض، مثل المصادر الطبيعية، مصادر مستمرة وثابتة المستوى. وثمة مصادر أخرى، مثل الفحوص والعلاجات الطبية وتوليد الطاقة الكهربائية النووية، تستمر فترات طويلة دون أن تكون بالضرورة، ثابتة المستوى. وتشكل مصادر أخرى، مثل التفجيرات التجريبية في الغلاف الجوي والحوادث، أحداثا متميزة أو سلاسل متميزة من الأحداث. والمصادر التي تطلق المواد المشعة إلى البيئة تبث جرعاتها خلال فترات ممتدة بحيث أن الجرعات السنوية الناجمة عنها لا توفر مقياسا كافيا لآثارها الكلية.

١١٥ - وبالنظر إلى تلك التعقيدات فإنه لا توجد طريقة وحيدة مرضية تبين بها الجرعة الناتجة التي يتلقاها الإنسان. غير أن هناك بعض المزايا في محاولة تقديم عرض توفيقى يسمح بالنظر إلى جميع المصادر على أساس مشترك، مع ترك العرض الأكثر انتقائية لبيان تفاصيل التعرض المتأني من كل نوع من أنواع المصادر. ومن طرائق ذلك عرض متوسط الجرعة السنوية الناتجة عن مختلف المصادر حتى الوقت الراهن. وهذا النوع من العرض يوضح الأهمية التاريخية للمصادر حتى الآن، لكنه لا يعطي تصورا للجرعة المستقبلية الصادرة بالفعل. وقد تفادت اللجنة جزءا من هذه الصعوبة باستخدام مفهوم الجرعة الصادرة الذي يضع في الاعتبار الجرعات المستقبلية الصادرة عن المصدر. غير أنه لا الجرعات الصادرة حتى الوقت الراهن، ولا الجرعة الجماعية الصادرة حتى الوقت الراهن، تمثل تمثيلا مناسباً للجرعات الناتجة عن الممارسات التي يحتمل أن تستمر في المستقبل. ولهذا السبب، هناك حاجة إلى وضع نظام للتنبؤ.

١١٦ - أما النهج الذي سيستخدم في هذا التقرير لمقارنة حالات التعرض للإشعاع الناتج عن مصادر مختلفة فيقوم على بيان الجرعة الجماعية المتلقاة أو الصادرة التي يتعرض لها سكان العالم: (أ) اعتبارا من نهاية عام ١٩٤٥ إلى نهاية عام ١٩٩٢ (٤٧ عاما)، فيما يتعلق بالأحداث المتميزة، و (ب) لمدة ٥٠ عاما بالمعدل الحالي للممارسة أو التعرض فيما يتعلق بجميع المصادر الأخرى، بما فيها المصادر الطبيعية. وهذا النهج يفترض أن المعدل الحالي للممارسة هو معدل يمثل، إلى حد معقول، فترة ٥٠ عاما: ٢٥ عاما سابقا و ٢٥ عاما لاحقا. وربما انطوى هذا الافتراض على مبالغة في تقدير الجرعات التي ستنتج مستقبلا عن الممارسات التي لا يتسع نطاقها بسرعة، لأن تحسن تقنيات ومعايير الحماية سيخفض الجرعات بالنسبة إلى كل وحدة من وحدات الممارسة. وليست هناك حاجة إلى أي افتراض بشأن الأحداث المتميزة.

١١٧ - وهذا الفصل يلخص تقييم اللجنة لتعرضات الجمهور والعاملين للإشعاع الناتج عن المصادر المختلفة. ويمكن الاطلاع على المعلومات التفصيلية في المرفقات العلمية لهذا التقرير.

باء - مستويات التعرض

١ - التعرضات المتأتية من المصادر الطبيعية

١١٨ - يقدر أن المتوسط العالمي للجرعة الفعّالة السنوية المتأتية من المصادر الطبيعية هو ٢,٤ ملي سيفيرت، منها ١,١ ملي سيفيرت ناجمة عن أشعة الخلفية الكونية و ١,٣ ملي سيفيرت ناجمة عن التعرض لغاز الرادون. ويتوقف معدل جرعة الإشعاع الكوني على الارتفاع عن سطح البحر وعلى خط العرض، إذ أن الجرعات السنوية في مناطق التعرض الشديد (المواقع العالية) تصل إلى نحو خمسة أضعاف المتوسط. ومعدل جرعة أشعة غاما الأرضية يتوقف على البنية الجيولوجية المحلية، حيث يبلغ المعدل العالي، في العادة، ١٠ أضعاف المتوسط. ويمكن أن تزيد الجرعة التي تتعرض لها بضعة مجتمعات محلية تعيش قرب بعض أنواع الرمال المعدنية بحوالي ١٠٠ مرة عن المتوسط. والجرعة المتأتية من نواتج انحلال الرادون تتوقف على البنية الجيولوجية المحلية وعلى طريقة تشييد المساكن وطريقة استخدامها، حيث تصل الجرعة في بعض المناطق إلى حوالي ١٠ أمثال المتوسط. ويمكن أن تجتمع البنية الجيولوجية المحلية مع نوع بعض المساكن وطريقة تهويتها لكي تعطي معدلات جرعة، من نواتج انحلال الرادون، تزيد عن المتوسط بعدة مئات من المرات.

١١٩ - ويبين الجدول ١ المتوسط النمطي للجرعات الفعّالة السنوية التي يتعرض لها البالغون والتي تتأتى من المصادر الطبيعية الرئيسية. ومع تجميع المزيد من البيانات وإجراء تغييرات طفيفة في طرائق التقدير، يظل تقدير المجموع السنوي ثابتا تقريبا: إذ كان ٢,٠ ملي سيفيرت في تقرير اللجنة لعام ١٩٨٢، وبلغ ٢,٤ ملي سيفيرت في تقريرها لعام ١٩٨٨، و ٢,٤ ملي سيفيرت في الجدول ١ الوارد أدناه.

١٢٠ - والجرعة الفعّالة السنوية المعتادة البالغة ٢,٤ ملي سيفيرت والمتأتية من المصادر الطبيعية تنتج عنها الجرعة الجماعية السنوية التي يتعرض لها سكان العالم، البالغ عددهم ٥,٣ بليون نسمة، وهي حوالي ١٣ مليون رجل سيفيرت.

**الجدول ١ - الجرعة الفعّالة السنوية التي يتعرض لها البالغون
والمتأتية من المصادر الطبيعية**

الجرعة الفعّالة السنوية (بالمليسيغرت)		مصدر التعرض
المعتادة	العالية ^(أ)	
٠,٣٩	٢,٠	الأشعة الكونية
٠,٤٦	٤,٣	أشعة غاما الأرضية
٠,٢٣	٠,٦	النويدات المشعة الموجودة في الجسم (باستثناء الرادون)
١,٣	١٠	الرادون ونواتج انحلاله
٢,٤	-	المجموع (مقرب)

(أ) القيم العالية تمثل مناطق شاسعة. وثمة أماكن تكون فيها القيم أعلى.

٢ - التعرضات الطبية

١٢١ - يستخدم الإشعاع على نطاق واسع في الفحوص التشخيصية وفي العلاجات، إلا أن استخدامه لأغراض التشخيص يفوق كثيرا سائر الاستخدامات. ويعرف معظم الناس الفحوص التي تجرى بالأشعة السينية على الصدر والظهر والأطراف والقناة المعوية، كما يعرفون الأشعة السينية المستخدمة في طب الأسنان، لأن هذه الفحوص هي التي يتكرر إجراؤها أكثر من غيرها. أما توفير خدمات الأشعة الطبية فهو يتفاوت تفاوتاً شديداً بين مختلف أنحاء العالم، لأن غالبية هذه الإجراءات تتبع في البلدان الصناعية التي لا تضم سوى ربع سكان العالم.

١٢٢ - واستناداً إلى وجود ارتباط بين أعداد الأجهزة، والفحوص الطبية بالأشعة السينية وعدد الأطباء في البلدان، أجرت اللجنة تقييماً لحالات التعرض الإشعاعية الطبية لأربع من مستويات الرعاية الطبية في العالم، ابتداءً من المستوى الأول الموجود في البلدان الصناعية وانتهاءً بالمستوى الرابع الموجود في أقل البلدان نمواً. وهذا التصنيف الواسع مفيد، ولكنه يخفي أحياناً تباينات كبيرة بين البلدان.

١٢٣ - ومع تحسن الرعاية الطبية، ترتقي البلدان في سلم مستويات الرعاية الطبية. ولهذا فإن عدد السكان الذين يعيشون في فئات البلدان المختلفة يتغير بمرور الزمن. فبين عام ١٩٧٧ وعام ١٩٩٠، كان أكبر تغير هو ازدياد عدد السكان في بلدان المستوى الثاني من نحو ١,٥ بليون نسمة إلى نحو ٢,٦ بليون نسمة. وتشير

تقديرات عام ١٩٩٠ إلى أن عدد السكان كان يبلغ ١,٣٥ بليون نسمة في بلدان المستوى الأول، و ٢,٦٣ بليون نسمة في بلدان المستوى الثاني، و ٠,٨٥ بليون نسمة في بلدان المستوى الثالث، و ٠,٤٦ بليون نسمة في بلدان المستوى الرابع.

١٢٤ - وقد استخرجت، من استقصاء عالمي أجرته اللجنة، تقديرات ممثلة لمدى تواتر الفحوص ولمقدار الجرعات في كل فحص. ففي بلدان المستوى الأول في مجال الرعاية الصحية، كان التكرار السنوي لفحوص الأشعة السينية الطبية (أي غير الخاصة بطب الأسنان) ٨٩٠ فحصا لكل ١ ٠٠٠ من السكان. وفي بلدان المستويات الثاني والثالث والرابع، كان التواتر، على التوالي، ١٢٠ فحصا و ٧٠ فحصا و ٩ فحوص لكل ١ ٠٠٠ من السكان. ويتناسب عدد الفحوص، إلى حد بعيد، مع عدد الأطباء. وتوجد، على كل مستوى، فوارق داخل البلدان وفيما بينها، كما أن الرقم الخاص بمعظم البلدان يتراوح بين ما يزيد أو ينقص بمعامل مقداره حوالي ٣ عن المتوسط الخاص بمستوى ذلك البلد في مجال الرعاية الصحية. ومدى التفاوت أوسع من ذلك في البلدان ذات المستويات الصحية الأدنى.

١٢٥ - والجرعات التي يتم التعرض لها في كل فحص منخفضة بصفة عامة، ولكن هناك تفاوت داخل البلدان وكذلك فيما بينها. والبيانات الخاصة بالمستوى الثاني، وبوجه أخص البيانات الخاصة بالمستويين الثالث والرابع تتصف بأنها محدودة للغاية، ولكنها لا تبين وجود اختلافات واضحة عن البيانات الخاصة بالمستوى الأول. وعلى الرغم من انخفاض الجرعات لكل فحص فإن حجم الممارسة يجعل الاستخدام التشخيصي للأشعة السينية أشيع مصدر للتعرضات الطبية. ومع ذلك فقد تم أيضا تقييم الجرعات المتأتية من استخدام المواد الصيدلانية المشعة ومن الممارسات العلاجية.

١٢٦ - والجرعات التي يتعرض لها المرضى يعبر عنها بالجرعات الفعّالة. وذلك يسمح بإجراء مقارنة بين الفترات الزمنية، والبلدان، ومستويات الرعاية الصحية، والإجراءات الطبية، ومصادر التعرض. غير أن المرضى يختلفون عن عامة السكان من حيث التوزع حسب السن والجنس ومن حيث متوسط العمر المتوقع، وبالتالي فإن المعاملات الإسمية للوفيات، المبينة في الفرع ألف من الفصل الثاني، هي تقريبية للغاية.

١٢٧ - ومن المهم، لدى النظر في أثر الجرعات على المرضى، عدم إغفال ما يرتبط بها من منافع. فمن شأن تخفيض الجرعة الفردية عند التشخيص أن يخفف الضرر الذي يلحق بالمرضى، ولكنه يمكن أن يخفض أيضا كمية المعلومات التشخيصية أو نوعيتها. أما في العلاج فإن استخدام الجرعة الصغيرة قد يقضي تماما على فائدة العلاج. وعند إجراء دراسات الفحوص الكاشفة، يجب أن تراعى، مع المنفعة التي يحققها الكشف المبكر للمرض، الفرصة التي ستتاح فيما بعد لتحسين معالجة الحالة الفردية لأن الكشف وحده ليس، بالضرورة، مفيدا. وقد تكون الجرعة الجماعية أساسا مضللا لإصدار الأحكام. ففي كثير من البلدان يشير ازدياد الجرعة الجماعية إلى ازدياد توافر الرعاية الطبية وإلى حدوث زيادة صافية في المنفعة.

١٢٨ - وتتوفر بشأن الجرعة الفعالة السنوية المتوسطة التي يتعرض لها كل مريض نتيجة للتشخيص بالأشعة السينية معلومات من ٢٦ بلدا، منها ٢١ بلدا في المستوى الأول و ٤ بلدان في المستوى الثاني وبلد واحد في المستوى الثالث. وفي بلدان المستوى الأول، هناك اتجاه عام نحو تخفيض الجرعة التي يتعرض لها كل مريض

نتيجة لمعظم أنواع الفحوص. والاستثناء الملحوظ هو في التصوير الشعاعي الطبقي للأورام باستخدام الحاسوب، الذي تتجه فيه الجرعات إلى الازدياد. وفي البلدان التي تتوافر عنها بيانات، تتراوح معظم قيم الجرعات الفعالة التي يتعرض لها المريض بين ٠,٥ ملي سيفيرت و ٢,٠ ملي سيفيرت. أما بالنسبة لكل فحص من هذه الفحوص، فإن القيم يمكن أن تخرج عن هذا النطاق، إذ أنها تقل عندما يتعلق الأمر بفحوص الأطراف والجمجمة، وتزيد عندما يتعلق الأمر بفحوص القناة المعوية المعوية.

١٢٩ - وتتوفر بشأن مقدار الجرعة الفعالة السنوية للفرد، معلومات من ٢١ بلدا من المستوى الأول و ٥ بلدان من المستوى الثاني وبلدين من المستوى الثالث. وتشير القيم الخاصة ببلدان المستوى الأول إلى نطاق يتراوح بين ٠,٣ ملي سيفيرت و ٢,٢ ملي سيفيرت. وليس من السهل إعداد تقديرات موثوقة بالنسبة إلى البلدان ذات المستويات الأدنى من الرعاية الصحية. غير أنه يبدو، بالنسبة لبلدان المستويين الثاني والثالث، أن النطاق يمتد من نحو ٠,٢ ملي سيفيرت إلى ٠,٢ ملي سيفيرت. والمتوسط المرجح، حسب عدد السكان، هو ١,٠ ملي سيفيرت لبلدان المستوى الأول، أي نفس المستوى الذي أفيد عنه في عام ١٩٨٨. أما المتوسط العالمي فهو ٠,٣ ملي سيفيرت. ومن الأسباب التي تدعو إلى الشك في هذه القيم استخدام الكشف الفلوري. فهذا الإجراء يحدث جرعات أعلى كثيرا من الجرعات التي يحدثها التصوير الإشعاعي، كما أن شيوع استخدامه ليس مؤكدا ويتغير مع الزمن.

١٣٠ - والاستخدام التشخيصي للمواد الصيدلانية المشعة في بلدان المستوى الأول وصل إلى درجة الاستقرار، ولكنه قد يكون آخذا في التزايد في بلدان المستويات من الثاني إلى الرابع. وقد حدثت تغيرات هامة في التقنيات المستخدمة في هذا الميدان. ويؤدي استعمال النويدات الطويلة العمر في البلدان النامية إلى أن تكون الجرعة بالنسبة للفحص الواحد، أعلى مما هي عليه الحال في البلدان التي تتوافر فيها بدائل أقصر عمرا. وعلى وجه الخصوص فإن استعمال الأيودين - ١٣١ قد انخفض انخفاضاً حاداً، وإن كان لا يزال يسهم إسهاماً كبيراً في الجرعة الجماعية في البلدان الصناعية. ولا تزال الجرعة الفعالة السنوية الفردية تساوي نحو ١٠ في المائة فقط من الجرعة المعزوة إلى الاستخدام التشخيصي للأشعة السينية. وهي تقارب ٠,٠٩ ملي سيفيرت في بلدان المستوى الأول، وتقل عن ذلك في البلدان التي تتدنى لديها مستويات الرعاية الصحية. وعلى نطاق العالم، تبلغ الجرعة الفعالة السنوية الفردية المتأقية من الطب النووي التشخيصي ٠,٠٣ ملي سيفيرت.

١٣١ - وتبلغ الجرعة الفعالة السنوية المقدرة للفرد، والناجمة عن جميع الاستعمالات التشخيصية للإشعاع، ١,١ ملي سيفيرت في بلدان مستوى الرعاية الصحية الأول؛ وحوالي ٠,٣ ملي سيفيرت في المتوسط بالنسبة للعالم بأسره. وعلى نطاق العالم كله، تبلغ الجرعة الفعالة الجماعية السنوية الناجمة عن التعرضات الطبية التشخيصية نحو ١٠x٨^٦ رجل سيفيرت، وهو أكبر تعرض متأت من المصادر أو الممارسات التي من صنع الإنسان. ويعادل نحو سَع الجرعة الجماعية السنوية التي يتعرض لها سكان العالم من مصادر الإشعاع الطبيعية.

١٣٢ - والجرعة التي يتعرض لها المريض الخاضع للعلاج الإشعاعي أكبر كثيرا من الجرعة التشخيصية، ولكن عدد المرضى أقل. وثمة صعوبات في تحديد كمية ملائمة تبين الجرعة التي يتعرض لها الجسم خارج العضو المستهدف. وقد استعملت اللجنة كمية ماثلة للجرعة الفعالة، ولكن مع تجاهل الجرعة التي تتعرض لها الخلايا المستهدفة. ويمكن، لمعظم الأغراض العملية، أن ينظر إلى هذه الكمية باعتبارها مساوية للجرعة الفعالة.

١٣٣ - وبهذا التبسيط، تبلغ الجرعة الفعالة الجماعية الكلية السنوية، على نطاق العالم بأسره والمتأنية من العلاج، نحو 10×5 رجل سيفيرت أي، تقريبا، نفس مقدار الجرعة المتأنية من التشخيص. غير أن المقارنة بين الجرعات التي يتم التعرض لها في التشخيص والعلاج قد لا تبين الضرر النسبي بيانا صحيحا. فالاختلاف في التوزيع العمري لا يبدو ملحوظا، غير أنه من المرجح أن يقل العمر المتوقع لاحقا عند المرضى الذين يتلقون علاجاً. وهذا يتيح فترة أقصر لظهور الآثار المتأخرة فيصبح الضرر النسبي منخفضا.

١٣٤ - ومع تقدم السكان في العمر وتزايد تحضرهم وانتشار خدمات الرعاية الصحية في جميع أنحاء العالم، يمكن أن يتوقع حصول تزايد في حالات التعرض المتأنية من الاستعمال الطبي للإشعاع. غير أنه توجد أيضا اتجاهات نحو انخفاض الجرعات التي يتم التعرض لها في كل فحص ونحو الاستعاضة بتقنيات بديلة، مثل التصوير بواسطة الرنين المغنطيسي والموجات فوق الصوتية. وستظهر فوارق ضخمة في الاتجاهات بين البلدان التي تختلف فيها مستويات الرعاية الصحية.

٣ - التعرضات المتأنية من التفجيرات النووية

ومن انتاج الأسلحة النووية

١٣٥ - خلال الفترة الممتدة بين عامي ١٩٤٥ و ١٩٨٠، أجريت، تفجيرات نووية جوية، في عدة مواقع، وكان معظمها في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وكانت أنشط فترات التجارب هي الفترة ١٩٥٢-١٩٥٨ والفترة ١٩٦١-١٩٦٢. وقد أجري، في المجموع ٥٢٠ اختبارا بلغت حصيلتها الانشطارية والانصهارية الكلية ٥٤٥ ميغاطنا.

١٣٦ - ومنذ إبرام معاهدة حظر تجارب الأسلحة النووية في الجو وفي الفضاء الخارجي وتحت سطح الماء، التي وقعت في موسكو في ٥ آب/أغسطس ١٩٦٣، أصبحت جميع تفجيرات التجارب النووية، تقريبا، تجرى في جوف الأرض. وقد تسربت بعض المنتجات الغازية الانشطارية، عن غير قصد، أثناء عدد قليل من التجارب الجوفية؛ ولكن البيانات المتوافرة لا تكفي لتقدير محصلة الجرعات الصادرة. ويقدر أن الحصيلة الانشطارية الكلية للتجارب الجوفية كانت ٩٠ ميغاطنا، وهذا يقل كثيرا عن حصيلة التجارب الجوية السابقة. وإضافة إلى ذلك فإنه على الرغم من أن مخلفات التفجيرات الجوفية تظل مصدرا ممكنا لتعرض البشر للإشعاع، وخصوصا على الصعيد المحلي، فإن معظم هذه المخلفات سيتم عزلها. ولذلك لا تزال التجارب الجوية السابقة هي المصدر الرئيسي للتعرض العالمي الناجم عن تجارب الأسلحة.

١٣٧ - والجرعة الفعالة الجماعية الكلية الصادرة عن تجارب الأسلحة حتى الآن تبلغ نحو 10×3 رجل سيفيرت وسيتم تلقي نحو 10×7 رجل سيفيرت، من هذه الجرعة بحلول عام ٢٢٠٠. أما البقية، الناجمة عن الكربون-١٤ الطويل العمر، فسوف يتم تلقيها خلال فترة الـ ١٠ ٠٠٠ سنة القادمة أو نحوها. وثمة طريقة أخرى للتعبير عن هذا الناتج، وهي استعمال تكامل متوسط معدل الجرعة التي يتلقاها سكان العالم على مدى الفترة الزمنية، أي الجرعة الصادرة. والجرعة الصادرة عن التجارب الجوية حتى عام ٢٢٠٠ تساوي ١,٤ رجل سيفيرت تقريبا؛ وبالنسبة للفترة كلها ٣,٧ رجل سيفيرت. وهذان الرقمان، لهما نفس رتبة العظم التي تتسم بها الجرعة الفعالة الناجمة عن التعرض لمدة سنة واحدة للإشعاع الآتي من المصادر الطبيعية. وجزء الجرعة الصادرة الذي

سيتم تلقيه حتى عام ٢٢٠٠ (٣٨ في المائة) لا يساوي جزء الجرعة الجماعية المناظرة (٢٣ في المائة)، لأنه يتوقع أن يزيد عدد سكان العالم من ٣,٢ بلايين نسمة، وقت تنفيذ البرامج الرئيسية لتجارب الأسلحة، ليصل إلى رقم ثابت هو ١٠ بلايين نسمة خلال معظم فترة الـ ١٠ سنة.

١٣٨ - وهذه التقديرات العالمية يدخل فيها الإسهام الآتي من الجرعات التي يتلقاها الناس القريبين من مواقع التجارب الجوية. ومع أن هذا الإسهام صغير على مستوى العالم، فإن بعض الجرعات المحلية كانت كبيرة. فالجرعات المؤثرة في الغدة الدرقية، التي يتعرض لها الأطفال القريبون من موقع نيفادا للتجارب، في الولايات المتحدة، ربما تكون قد وصلت إلى ١ غراي. وخلال الفترة من ١٩٤٩ إلى ١٩٦٢ تم تلقي جرعات مؤثرة في الغدة الدرقية مشابهة ولكن أكبر بعض الشيء، في المستوطنات المجاورة لموقع التجارب في سيمبلا تينسكي في الاتحاد السوفياتي السابق. وكانت بعض الجرعات قرب موقع تجارب المحيط الهادئ، بالولايات المتحدة، عالية أيضاً، وذلك لأسباب أهمها تغيير الرياح لاتجاهها بعد إحدى التجارب النووية الحرارية. كذلك فإن تلوث التربة بالقرب من مارالينغا، استراليا، حيث تجري التجارب النووية البريطانية، كان كافياً للحد من إمكانية دخول المنطقة لاحقاً. وبدون الاستمرار في إزالة التلوث، يمكن أن تنجم عن الاستيطان المستمر وغير المقيد جرعات فعالة سنوية تبلغ عدة مليسيفيرات في منطقتين، مع وصول قيم الجرعات في مساحات صغيرة قرب مواقع التجارب مباشرة إلى ٥٠٠ مليسيفيرات. وقد بلغت الجرعة الفعالة الجماعية المحلية والإقليمية الناجمة عن سلسلة التجارب كلها نحو ٧٠٠ رجل سيفيرت.

١٣٩ - كذلك فإن العمليات اللازمة لإنتاج الإمدادات العالمية من الأسلحة النووية تتسم بأنها، هي أيضاً، مصدر للتعرض. وهذه العمليات تبدأ بتعدين اليورانيوم وطحنه. ثم يثرى اليورانيوم، إما بدرجة عالية من أجل مكونات الأسلحة، وإما بدرجة منخفضة من أجل استخدامه في المفاعلات التي تنتج البلوتونيوم والتريتيوم. ونطاق هذه الأنشطة لا يعلن للجمهور، ولا بد من تقديره بطريقة غير مباشرة. وبعد ذلك تقدر محصلة الجرعات الصادرة باستخدام معاملات إطلاق الجرعات بالنسبة للوحدة من وحدات إنتاج الطاقة الكهربائية في المحطات النووية، وهي معاملات يسهل الحصول على بيانات أكثر عنها. وتقدر الجرعة الفعالة الجماعية، المحلية والإقليمية، التي يتعرض لها الجمهور والصادرة عن هذه العمليات، بنحو ١٠٠٠ رجل سيفيرت. وتكون الجرعة الجماعية العالمية أكبر بمعامل يتراوح بين ١٠ و ١٠٠. وحتى لو اعتبرت الجرعة الجماعية الكلية ١٠^٥ رجل سيفيرت فهي تشكل جزءاً صغيراً من الجرعة الفعالة الجماعية الصادرة عن برامج التجارب.

١٤٠ - وكما في حالة التجارب فإن بعض الجرعات المحلية كانت كبيرة. ويجري حالياً تقييم الجرعات التي انطلقت بالقرب من منشأة إنتاج البلوتونيوم في هانفورد بولاية واشنطن، بالولايات المتحدة. وتشير النتائج الأولية إلى أن الجرعات المؤثرة على الغدة الدرقية ربما تكون قد وصلت إلى ١٠ غراي في بعض سنوات الأربعينيات. وقد أدى إطلاق النفايات الناتجة من تجهيز الوقود المشع إلى البيئة، في المنشأة العسكرية السوفياتية قرب كيشتيم بجبال الأورال، إلى انطلاق جرعات فعالة تراكمية تناهز ١ سيفيرت في بعض الأماكن الواقعة على شواطئ الأنهار على امتداد مسافات تصل إلى ٣٠ كيلومتراً من المواقع، وذلك لبضع سنوات في أوائل الخمسينيات.

٤ - التعرضات الناجمة عن إنتاج الطاقة الكهربائية في المحطات النووية

١٤١ - ظل توليد الطاقة الكهربائية في محطات التوليد النووية يتزايد منذ بداية هذه الممارسة في الخمسينيات، وأن أصبح معدل الزيادة الآن أقل من معدل زيادة توليد الطاقة الكهربائية بوسائل أخرى. وفي عام ١٩٨٩، بلغت الطاقة الكهربائية المولدة بواسطة المفاعلات النووية ٢١٢ غيغاوات سنة، أي ١٧ في المائة من الطاقة الكهربائية المولدة في العالم في تلك السنة. وكان مجموع الطاقة الكهربائية المولدة بواسطة المفاعلات منذ الخمسينيات حتى عام ١٩٩٠ أقل من ٢ ٠٠٠ غيغاوات سنة.

١٤٢ - وكما حدث في التقارير السابقة للجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري، أجري تقدير للجرعة الفعالة الجماعية الصادرة عن توليد ١ جيغاوات سنة من الطاقة الكهربائية بواسطة المصادر النووية، وذلك لكامل دورة الوقود ابتداءً من التعدين والطحن، ومرورا بالإثراء وصنع الوقود وتشغيل المفاعلات، ووصولاً إلى إعادة تجهيز الوقود والتخلص من النفايات. ولم يحسب، بالتحديد، حساب وقف تشغيل المفاعلات، وذلك، من ناحية، بسبب محدودية الخبرة المتوافرة حتى الآن، ومن ناحية أخرى لأن من الواضح فعلاً أن مساهمة وقف التشغيل يحتمل أن تكون صغيرة.

١٤٣ - وتم الحصول من معظم المنشآت الرئيسية للطاقة الكهربائية النووية في العالم على معلومات تفصيلية عن حالات إطلاق النويدات المشعة إلى البيئة أثناء العمليات الروتينية. ومن هذه المعلومات، قدرت اللجنة الإطلاقات المنمطة محسوبة على أساس الوحدة من الطاقة الكهربائية المولدة. وبعد ذلك قدرت الجرعات الفعالة الجماعية الصادرة، محسوبة على أساس الوحدة من الطاقة المولدة، وذلك بالاستعانة بالنماذج البيئية المعممة التي وضعتها اللجنة في تقاريرها السابقة. وأعدت تقديرات منفصلة للمكونات المنمطة الناجمة عن حالات التعرض المحلية والإقليمية وعن حالات التعرض للنويدات المشعة المنتشرة عالمياً. ويبين الجدول ٢ المساهمات الرئيسية. وقد اجترئت هذه الجرعات الجماعية الصادرة بحيث تقتصر على ١٠ ٠٠٠ سنة، وذلك بسبب الشكوك القوية التي تكتنف إعداد تنبؤات تمتد إلى فترات أطول.

١٤٤ - والقيمة البالغة ٣ رجل سيفيرت (غيغاوات سنة) - ١ والخاصة بالجرعة الجماعية المحلية والإقليمية المنمطة الصادرة، محسوبة على أساس الوحدة من وحدات الطاقة المولدة، هي أدنى بقليل من القيمة التي قدرت في التقارير السابقة. وقد أجريت أهم التخفيضات في تشغيل المفاعلات وإعادة التجهيز، ورافقها شيء من الزيادة في التقديرات الخاصة بالتعدين والطحن. ولذلك فإن القيمة الحالية لا تمثل كامل فترة إنتاج الطاقة الكهربائية النووية، لكون الجرعة المنمطة في الجزء الأول من الفترة أعلى قليلاً من المتوسط. ويقدر أن الجرعة الجماعية الكلية الصادرة عن النفايات المشعة المنبعثة من دورة الوقود النووي حتى نهاية عام ١٩٨٩ تزيد بمقدار طفيف عن ١٠ ٠٠٠ رجل سيفيرت. أما مقدار الجرعة الجماعية الصادرة عن النويدات المشعة المنتشرة عالمياً وعن تصريف النفايات الصلبة، فهو غير مؤكد، لأنه يعتمد على ممارسات معالجة النفايات في المستقبل وعلى تغير عدد سكان العالم خلال فترة الـ ١٠ ٠٠٠ سنة المقبلة. وباستخدام تقدير ٢٠٠ رجل سيفيرت (غيغاوات سنة) - ١ المبين في الجدول ٢، يقدر أن إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة في المحطات النووية، وهو ٢ ٠٠٠ غيغاوات سنة، قد أصدر جرعة فعالة جماعية تبلغ ٤٠٠ ٠٠٠ رجل سيفيرت.

١٤٥ - وإذا كان المعدل الحالي للتوليد، ومعه القيم المنمطة الواردة في الجدول ٢، يمثل تمثيلا صحيحا فترة الـ ٥٠ سنة التي يشكل الوقت الراهن منتصفها، تكون الجرعة الفعالة الجماعية الناجمة عن توليد الطاقة الكهربائية النووية لمدة ٥٠ سنة نحو ٢ x ١٠^٦ رجل سيفيرت.

الجدول ٢: الجرعات الجماعية المنمطة الصادرة من وحدات توليد الطاقة الكهربائية في المحطات النووية والتي يتعرض لها الجمهور

المصدر	الجرعة الفعالة الجماعية الصادرة لكل وحدة من الطاقة المولدة [رجل سيفيرت (غياوات سنة) ^{١٠}]
المكون المحلي والاقليمي	
التعدين والطحن ونفايات الخام	١,٥
صنع الوقود	٠,٠٠٣
تشغيل المفاعل	١,٣
إعادة التجهيز	٠,٢٥
النقل	٠,١
المجموع (مقربا)	٣
المكون العالمي (بما في ذلك التخلص من النفايات الصلبة)	
نفايات الخام في المنجم وفي معدات الطحن	١٥٠
التخلص من نفايات تشغيل المفاعل	٠,٥
النويدات الاشعاعية المنتشرة على مستوى العالم والناجمة أساسا عن إعادة التجهيز وعن التخلص من النفايات	٥٠
المجموع (مقربا)	٢٠٠

١٤٦ - وثمة تباين شاسع بين الجرعات التي يتعرض لها الأفراد نتيجة لتوليد الطاقة الكهربائية، وذلك حتى بالنسبة الى الأفراد الذين يعيشون بالقرب من منشآت متماثلة. وقد أعدت بعض التقديرات للجرعات القصوى الخاصة بمواقع نموذجية تمثل الواقع. ففيما يخص الأنواع الرئيسية من منشآت توليد الطاقة الكهربائية، تتراوح الجرعات الفعالة السنوية، لدى أكثر أفراد الجمهور تعرضا، بين ١ ميكروسيفيرت و ٢٠ ميكروسيفيرت. أما الرقمان المناظران الخاصان بالمنشآت الكبيرة لإعادة تجهيز الوقود فتتراوح من ٢٠٠ و ٥٠٠ ميكروسيفيرت.

٥ - تعرض الجمهور للإشعاع نتيجة للحوادث الكبرى

١٤٧ - كما هو الحال بالنسبة لجميع الأنشطة البشرية فإن الحوادث تقع في أماكن العمل. ويتوقف تعرض المرضى للإشعاع، لأسباب تشخيصية أو علاجية، على وجود عطب في المعدات أو قصور في الاجراءات. والجرعات الناجمة عن حوادث العمل الصغرى تدرج ضمن نتائج الرصد الروتيني. وبعض الحوادث، المهنية والطبية، تنطوي على نتائج خطيرة بالنسبة للأفراد المعنيين. وهذه الحوادث غير قليلة (ربما بلغت بضع مئات في كل سنة على نطاق العالم). غير أن احتمال أن يتعرض لها فرد بعينه من أفراد الجمهور هو احتمال ضئيل. وهذا الفرع لا يتناول سوى الحوادث الكبرى التي تؤثر في أفراد الجمهور.

١٤٨ - وقد أدى انتاج الأسلحة النووية، ثم نقلها، الى وقوع عدة حوادث. وحوادث النقل سببت تلوثا محليا بالبلوتونيوم غير أن الجرعة الجماعية الصادرة عن هذه الحوادث كانت منخفضة. ففي حادثة وقعت في بالوماريس، اسبانيا، كانت أعلى جرعة فعالة صادرة تقارب ٢٠٠ مليسيفيرت. ونتجت عن حوادث أخرى في البر، ومن فقدان أسلحة نووية في البحر، جرعات لا تصيب الناس بأثر يذكر.

١٤٩ - وأخطر حادثتين مرتبطتين بانتاج الأسلحة النووية وقعتا في كيشتيم، بجنال الأورال الجنوبية في الاتحاد السوفياتي، في أيلول/سبتمبر ١٩٥٧، وفي منشأة وندسكيل في سيلافيلد بالمملكة المتحدة في تشرين الأول/أكتوبر من العام نفسه.

١٥٠ - وتمثلت حادثة كيشتيم في انفجار كيميائي حصل إثر تعطل نظام التبريد في صهريج لتخزين النواتج الانشطارية لنفايات شديدة النشاط. وكانت النواتج الانشطارية الرئيسية التي أطلقت هي نظائر السيريوم والزركونيوم والنيوبيوم والسترونتيسوم. ونجمت الجرعات عن نواتج انشطارية مخزنة في الأرض وعن دخول السترونتيوم في السلسلة الغذائية. وقد تشارك في التعرض للجرعة الجماعية، على نحو متساو تقريبا، الأشخاص الذين تم اجلاؤهم من المنطقة الشديدة التلوث (نحو ١٠ ٠٠٠ شخص) والأشخاص الذين ظلوا في المناطق الأقل تلوثا (نحو ٢٦٠ ٠٠٠ شخص)، وتقدر الجرعة الجماعية الكلية على مدى ٣٠ سنة بنحو ٢ ٥٠٠ رجل سيفيرت. وتلقى أعلى الجرعات الأشخاص الذين تم اجلاؤهم في غضون أيام قليلة من وقوع الحادثة. وبلغ متوسط الجرعة الفعالة التي تعرضت لها هذه الفئة، المؤلفة من ١ ١٥٠ شخصا، نحو ٥٠٠ مليسيفيرت.

١٥١ - أما حادثة وندسكيل فتمثلت في حريق اندلع في قلب مفاعل يبرد بالهواء، مكون من اليورانيوم الطبيعي والغرافيت، وكان الغرض من المفاعل، أساسا، انتاج البلوتونيوم للأغراض العسكرية. أما المواد الرئيسية المنبعثة فكانت نظائر الزينون والأيودين والسيزيوم والبولونيوم. وكان أهم مسارات الدخول الى الجسم هو شرب اللبن،

الذي كان يخضع للمراقبة في المنطقة القريبة من مكان الحادثة. أما في المناطق البعيدة فقد كان استهلاك اللبن غير المراقب والاستنشاق مصدرين هامين للتعرض في حين كانت نويدات الأيودين - ١٣١ والبولونيوم - ٢١٠ أهم النويدات. وبلغت الجرعة الفعالة الجماعية الكلية في أوروبا، بما في ذلك المملكة المتحدة، قرابة ٢ ٠٠٠ رجل سيفيرت. وتلقت أعلى الجرعات الفردية الغدد الدرقية للأطفال الذين كانوا يعيشون قرب الموقع، ووصلت تلك الجرعات الى ما يقرب من ١٠٠ مليغراي.

١٥٢ - وقد وقعت بعض الحوادث التي ألحقت أضراراً بمفاعلات الطاقة الكهربائية النووية، وأهمها حادثة ثري مايل أيلند في الولايات المتحدة، وحادثة تشيرنوبيل في الاتحاد السوفياتي. وقد ألحقت حادثة ثري مايل أيلند ضرراً خطيراً بقلب المفاعل، لكن نظام العزل احتوى جميع النواتج الانشطارية تقريباً. ولم تتجاوز الجرعة الفعالة الجماعية التي نجمت عن هذه الحادثة ٤٠ رجل سيفيرت تقريباً. وكانت الجرعات التي تعرض لها أفراد الجمهور منخفضة، إذ أن أعلى حركة كانت أقل قليلاً من ١ مليسيفيرت.

١٥٣ - وحادثة تشيرنوبيل بحثت تفصيلياً في تقرير لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري عن عام ١٩٨٨ (انظر الفرع ثالثاً - ألف - ٨). وقد تبين أن الانفجار، وحريق الغرافيت الذي أعقبه، أدّى إلى إطلاق جزء كبير من مكونات قلب المفاعل وتسبباً في بث جرعات فعالة في نصف الكرة الأرضية الشمالي، وخصوصاً في الاتحاد السوفياتي وأوروبا. ويقدر أن الجرعة الفعالة الجماعية الصادرة عن الحادثة كانت تناهز ٦٠٠ ٠٠٠ رجل سيفيرت. وكانت الجرعات الفردية متفاوتة تفاوتاً شاسعاً، وتعرض بعض أفراد المجموعة التي تم إجلاؤها إلى جرعات فعالة تناهز ٠,٥ سيفيرت. وقد انخفض متوسط الجرعة الفعالة السنوية في منطقة الرقابة المشددة المحيطة بالحيز الذي تم إخلاؤه من نحو ٤٠ مليسيفيرت في السنة التي أعقبت الحادثة إلى أقل من ١٠ مليسيفيرت في كل سنة من السنوات حتى عام ١٩٨٩.

١٥٤ - وفي عام ١٩٩٠، أجري استعراض دولي للحالة في المناطق المحيطة بالمنطقة التي أخليت. وأكد المشروع أن تقدير الجرعات كان صحيحاً، وتبين أن صحة السكان كانت في ذلك الحين مماثلة لصحة السكان في المستوطنات القريبة غير الملوثة.

١٥٥ - ويحدث في بعض الأحيان أن تفقد، أو تتلف، مصادر محكمة الإغلاق تستخدم للأغراض الصناعية أو الطبية، فيصاب من جراء ذلك أفراد من الجمهور. وقد وقعت، منذ عام ١٩٨٢، أربع حوادث شديدة التأثير من هذا النوع. ففي المكسيك، بيع في عام ١٩٨٣ جهاز للمعالجة الإشعاعية عن بعد، غير مرخص به ومحتو على الكوبالت - ٦٠ باعتباره خردة معدنية. وإلى جانب التلوث الواسع الانتشار لمنتجات الصلب في المكسيك والولايات المتحدة، تعرض حوالي ١ ٠٠٠ شخص لمستويات إشعاع كبيرة قاربت فيها الجرعات الفعالة ٢٥٠ مليسيفيرت. وتعرض نحو ٨٠ شخصاً لجرعات أعلى، تصل إلى ٣ سيفيرت، كما تعرض سبعة أشخاص لجرعات تتراوح بين ٣ سيفيرت و ٧ سيفيرت. ولم تحدث وفيات.

١٥٦ - وفي المغرب، توفي في عام ١٩٨٤ ثمانية أفراد من أسرة واحدة وجدوا جهازاً محكم السد فيه مصدر للتصوير الشعاعي الصناعي يحتوي على الإيريديوم - ١٩٢، واحتفظوا به في بيتهم. وكانت الجرعات الفعالة تتراوح بين ٨ و ٢٥ سيفيرت. وفي غويانيا، البرازيل، أخرج في عام ١٩٨٧ جهاز للمعالجة الإشعاعية عن بعد،

يحتوي على السيزيوم - ١٣٧، من غطاءه الواقعي وتم تهشيمه. وجرى التعرض إثر ذلك لجرعات شديدة من الاشعاع المباشر ومن تلوث المنطقة المحيطة. وقد تراوحت الجرعات التي تعرض لها الأفراد ضمن مدى أقصاه ٥ سيفيرت. ونقل أربعة وخمسون شخصا الى المستشفى، توفي أربعة منهم. وفي مقاطعة شانكسي بالصين، فقد في عام ١٩٩٢ جهاز فيه مصدر للكوبالت - ٦٠ والتقطه رجل. وقد توفي ثلاثة أشخاص من أسرة الرجل نتيجة لفرط التعرض. وفي عام ١٩٩٣، وقعت حادثة في منشأة بالقرب من تومسك في الاتحاد الروسي. ولم يكتمل بعد تقييم المعلومات عن هذه الحادثة، ولكن يبدو أن حالات التعرض كانت منخفضة للغاية وأن عدد أفراد الجمهور الذين تأثروا بها كان صغيرا.

٦ - حالات التعرض المهني

١٥٧ - يقع التعرض المهني للإشعاع لعدة فئات من العاملين الذين يتعاملون بالمواد المشعة أو يتعرضون أثناء العمل لمصادر إشعاع اصطناعية أو طبيعية. وقد أجرت اللجنة دراسة استقصائية للبلدان في كل أنحاء العالم من أجل الحصول على معلومات تتيح القيام باستعراض شامل لحالات التعرض المهني للإشعاع.

١٥٨ - وكثير من العاملين في المهن التي تنطوي على التعرض لمصادر إشعاع أو مواد مشعة يخضعون لمراقبة فردية. غير أن أحد الاستثناءات البارزة في هذا الصدد هو قوة العمل الكبيرة المعرضة لمستويات عالية من الإشعاع المنبعث من مصادر طبيعية، مما يوجد مثلا في بعض أقسام الصناعات الاستخراجية. والسبب الرئيسي لرصد حالات التعرض للإشعاع في مكان العمل هو توفير أساس للحد من حالات التعرض وضمان التقيد بالشروط التنظيمية والسياسات الادارية. وهذان النوعان من الشروط يتجاوزان مجرد التقيد بحدود الجرعة الإشعاعية، بل قد يشملان شروطا لكفالة وتوضيح المستوى الأمثل من الحماية. ولا بد أن يعكس تصميم وتفسير برامج الرصد الاحتياجات المحلية. ومن المفيد توسيع نطاق هذه الأهداف على نحو يسمح بإجراء مقارنات بين مختلف العمليات، اذا أمكن القيام بذلك دون صعوبة شديدة. فذلك التوسيع من شأنه أن يساعد اللجنة كثيرا في عمليات جمع البيانات والمقارنة بينها.

١٥٩ - ومصادر التعرض الرئيسية، بالنسبة لمعظم العاملين المشتغلين بمصادر الاشعاع أو المواد المشعة هي المصادر الموجودة خارج الجسم. فالجرعات الناجمة عن المصادر الداخلية تكون عادة ضئيلة الشأن، وذلك فيما عدا الجرعات الناجمة عن غاز الرادون الموجود طبيعيا في جميع أماكن العمل. وعلاوة على ذلك فإن رصد حالات التعرض الخارجي أسهل كثيرا من رصد حالات التعرض الداخلي. ومن ثم فإنه تجري مراقبة كثير من العاملين لرصد حالات التعرض الخارجي، حتى في الحالات التي يتوقع أن تكون جرعاتهم منخفضة فيها؛ أما رصد التعرض الداخلي فلا يجري إلا عندما تكون هناك فعلا ضرورة. بيد أن بعض مجالات التعرض المهني قد لا تكون خاضعة للرصد الكافي. ويعتقد أن مستوى التعرض المهني في العمل الطبي وتسجيله في المنشآت الطبية الكبيرة على قدر كاف من الجودة، ولكن من المرجح ألا يكونا كذلك في المنشآت الصغيرة.

١٦٠ - وليس من الممكن إجراء قياسات مباشرة للجرعة الفعلية التي يتعرض لها العاملون. ففي معظم حالات رصد التعرض الخارجي، تعتبر عادة، النتائج المأخوذة من أجهزة الرصد الشخصية الصغيرة قياسا كافيا للجرعات الفعلية. أما الجرعات الناجمة عن المصادر الداخلية فإنها تقدر استنادا الى عدد من القياسات، من بينها مقدار

المواد المشعة الذي يفرزه أو يحتفظ به الجسم، وتركز المواد المشعة في الهواء، وفي مكان العمل. وتعتمد التقديرات على نماذج التوزيع الزمني لدخول النويدات المشعة في الجسم وانتقالها وبقائها فيه. ولا بد أن تكون هناك درجة ملموسة من عدم اليقين.

١٦١ - وثمة قدر من الصعوبة في عرض المعلومات المتعلقة بالجرعة المنفردة النمطية التي يتلقاها العاملون، وذلك بسبب اختلاف السياسات المتبعة في توزيع أجهزة الرصد. وعلى وجه الخصوص، فإن انتشار توزيع أجهزة الرصد على العاملين الذين يحتمل أن يكون مستوى تعرضهم منخفضاً يؤدي إلى نقص مصطنع في المتوسط المسجل لدرجة تعرض القوى العاملة. وقد استعانت اللجنة ببعض الشيء بمفهوم الجرعة الوسطية لكل عامل معرض بدرجة قابلة للقياس، وتجنببت بذلك ما يشوب عملية التقدير من انحراف ناجم عن شمول الرصد لأشخاص يتعرضون لجرعات ليس لها تأثير يذكر. غير أن المعلومات المقدمة من البلدان لم تكن جميعها في شكل يتيح تقدير هذه الكمية، ولذلك لا يمكن استخدامها في ملخص البيانات الإجمالي. ولبعض الأغراض، تمثل الجرعة الجماعية كمية مرضية أكثر من غيرها لأنها قليلة التأثير بشمول أعداد كبيرة من الجرعات المنفردة التي ليس لها تأثير يذكر.

١٦٢ - وهناك اختلافات واسعة بين المهن في الجرعات السنوية المسجلة التي يتلقاها العاملون الخاضعون للرصد وكذلك بين البلدان للمهنة نفسها. والمعلومات التفصيلية المستمدة من استعراض اللجنة أتاحت إجراء مقارنات بين فترات الخمس سنوات من عام ١٩٧٥ إلى عام ١٩٨٩. وهذا الملخص يركز على آخر فترة من فترات الخمس سنوات، ويقدم ملاحظات على الاتجاهات التي سادت على مدى الفترات السابقة. ويلخص الجدول ٣ المتوسط العالمي للجرعات السنوية التي تلقاها العاملون الخاضعون للرصد وللجرعات الجماعية المقترنة بها خلال الفترة ١٩٨٥-١٩٨٩.

١٦٣ - والعاملون في المهن التي تنطوي على تعرض طارئ لمصادر إشعاع طبيعية، مثل التعدين غير المتعلق باليورانيوم، لا يخضعون عادة للرصد كما أن جرعاتهم مستبعدة من الأرقام الواردة في الجدول ٣. والمهن الرئيسية في هذه الفئة تندرج في مجال الطيران وصناعات استخراج المعادن. فالجرعة الفعلية السنوية التي يتعرض لها طاقم الطيران، تتراوح نمطياً بين ٢ ملي سيفيرت و ٣ ملي سيفيرت للفرد، مع وجود قيم أعلى من ذلك في بعض الطائرات الأسرع من الصوت. وفي الصناعات الاستخراجية، تتراوح الجرعات الفعلية السنوية، في العادة بين ١ ملي سيفيرت و ٢ ملي سيفيرت في مناجم الفحم، وبين ١ ملي سيفيرت و ١٠ ملي سيفيرت في المناجم الأخرى. وتقدر الجرعة المهنية الجماعية السنوية التي يتعرض لها هؤلاء العاملون بنحو ٦٠٠ ٨ رجل سيفيرت. بيد أن هذا التقدير غير مؤكد تماماً بسبب محدودية بيانات الرصد الخاصة هؤلاء العاملين.

الجدول ٣: التعرضات المهنية السنوية العالمية للعاملين
الخاضعين للرصد، ١٩٨٥-١٩٨٩

الجرعة الفعلية الجماعية السنوية ^(١) (رجل سيفيرت)	الجرعة الفعلية الوسطية السنوية لكل عامل خاضع للرصد (مليسييفيرت)	الفئة الفنية
دورة الوقود النووي		
١ ٢٠٠	٤,٤	التعدين
١٢٠	٦,٣	الطحن
٠,٤	٠,٠٨	الإثراء
٢٢	٠,٨	تصنيع الوقود
١ ١٠٠	٢,٥	تشغيل المفاعلات
٣٦	٣,٠	إعادة المعالجة
١٠٠	٠,٨	البحوث
٢ ٥٠٠	٢,٩	المجموع (مقرباً)
المهن الأخرى		
٥١٠	٠,٩	التطبيقات الصناعية
٢٥٠	٠,٧	الأنشطة الدفاعية
١ ٠٠٠	٠,٥	التطبيقات الطبية
١ ٨٠٠	٠,٦	المجموع (مقرباً)
جميع المهن		
٤ ٣٠٠	١,١	المجموع الاجمالي (مقرباً)

(أ) لا تشمل الجرعات الناجمة عن التعرضات الطارئة للإشعاع من المصادر الطبيعية. وتقدر الجرعة الجماعية الناتجة عن هذه المصادر الطبيعية بنحو ٨ ٦٠٠ رجل سيفيرت والجزء الرئيسي منها ناتج عن التعدين تحت الأرض لاستخراج معادن غير اليورانيوم. ويأتي زهاء نصف هذا المقدار من تعدين الفحم.

١٦٤ - وتختلف التقديرات الملخصة في الجدول ٣ في بعض النواحي عما ورد في التقارير السابقة. وهذه التغيرات ناجمة أساسا عن قاعدة البيانات المحسنة التي أصبحت متوفرة الآن. وأكبر التغيرات تتعلق بتقديرات الجرعات المتأتية من التطبيقات الطبية، والكثير منها ناجم عن إشعاع ضعيف النفاذية. وعليه فإن أجهزة قياس الجرعات الشخصية المحمولة على سطح الجسم تعطي تقديرا أعلى للجرعة الفعالة، وخاصة إذا كان الجسم مزودا، كما هو شائع، ببعض وسائل الحماية الجزئية كالدروع المركبة والمآذر الوقائية. ولذا فإن التقدير الحالي للجرعة الجماعية أدنى من التقدير السابق ٥ مرات، وقد يكون مع ذلك أعلى من التقدير الصحيح بمقدار الضعف.

١٦٥ - أما في الصناعة النووية فلم يتغير متوسط الجرعة الجماعية السنوية تغييرا جوهريا في السنوات الـ ١٥ الأخيرة، وذلك على الرغم من ازدياد الطاقة الكهربائية المولدة خلال تلك الفترة ٣ مرات عما كانت عليه، وازدياد عدد العاملين بمقدار الضعف. وانخفضت الجرعة الفعالة الجماعية لكل وحدة طاقة كهربائية مولدة بنسبة ٥٠ في المائة، كما انخفض متوسط الجرعة الفردية بنسبة ٣٠ في المائة. والعاملون في عمليات التعدين والمعالجة هم الذين يتعرضون لأعلى متوسط للجرعات الفردية. وترجع الانخفاضات الحاصلة في الجرعات الفردية التي يتعرض لها العاملون في المفاعلات الى مزيج من أساليب التشغيل المحسنة والتعديلات التي أدخلت على المصانع في منتصف الثمانينات. ويمكن توقع إدخال تحسينات أخرى عند تهيئة المصانع الجديدة للتشغيل.

١٦٦ - وقد حصل نقصان بمقدار النصف تقريبا في الجرعات الفردية والجماعية معا في الصناعة عامة. وبما أن عدد العاملين الخاضعين للرصد لم يتغير إلا قليلا فإن هذا يمثل تحسنا إجماليا. وفي الصناعات الدفاعية، انخفضت الجرعات الجماعية والفردية، بفضل عوامل أهمها التحسينات التي أدخلت على طرائق تشغيل وصيانة السفن المسيرة بالطاقة النووية.

١٦٧ - وإذا أخذت في الاعتبار التقديرات الزائدة التي انطوت عليها التقارير السابقة، لن يظهر أي اتجاه في الجرعة الجماعية للتعرضات المهنية في ميدان الطب. وقد شهد متوسط الجرعة الفردية انخفاضا يعزى، جزئيا، الى زيادة في عدد العاملين الخاضعين للرصد.

١٦٨ - ومن النادر أن يتعرض العاملون تعرضا خطيرا للإشعاع نتيجة للحوادث. أما الحوادث الطفيفة التي تسبب تعرضات غير متوقعة، لا تؤدي الى إصابات مباشرة، فإنها أكثر تكررا، غير أن السياسة المتبعة بشأن الإبلاغ عنها تختلف اختلافا كبيرا من مكان الى آخر. ولقد تلقت اللجنة منذ عام ١٩٧٥ معلومات تتعلق بنحو ١٠٠ حادثة منطوية على الوفاة أو على إمكانية التسبب في إصابات قطعية في القوة العاملة. ويكاد يكون من المؤكد أن القائمة غير كاملة. وحادثة تشيرنوبيل كانت الى حد بعيد أخطر الحوادث، إذ أنها تسببت في ٢٨ حالة وفاة لأسباب ذات صلة بالإشعاع. والجرعات التي تلقاها زهاء ٢٠٠ عامل كانت عالية لدرجة تكفي لتسبب آثار إكلينيكية قطعية. وأفادت التقارير أيضا بحدوث ثلاث حالات وفاة ناجمة عن الإشعاع في حوادث أخرى. وقد نوقشت في الفرع ٥ أعلاه الحوادث التي شملت آثارها عامة الناس.

١٦٩ - والجرعة الجماعية الناجمة عن التعرض للإشعاع في الحوادث الطفيفة تدرج في التقارير الاعتيادية المتعلقة بالتعرض المهني. أما الجرعة الجماعية الناجمة عن الحوادث الخطيرة فإن تقديرها ليس سهلا، غير أنها دون شك، صغيرة مقارنة بإجمالي الجرعات الجماعية المهنية. ولم يبلغ بعد، مع حالات التعرض المهني

الأخرى، عن واحدة من مكونات الجرعة الجماعية وهي الجرعة الناجمة عن أعمال الطوارئ المضطلع بها لاحتواء مفاعل تشيرنوبيل الذي أصابه الضرر. وهذا التعرض لم يحدث عرضيا في حادثة، وإن كان نتيجة مباشرة لوقوع حادثة. وشمل تأثيره زهاء ٢٤٧ ٠٠٠ عامل. وقد قدر متوسط الجرعة المتأتية من التعرض الخارجي بنحو ٠,١٢ سيفيرت، وهذا يعني جرعة جماعية قدرها ٣٠ ٠٠٠ رجل سيفيرت. أما الجرعات المتأتية من التعرض الداخلي فقد تفاوتت أثناء العمل، ولكنها كانت تقارب ١٠ في المائة من الجرعات المتأتية من التعرض الخارجي.

٧ - ملخص المعلومات الحالية

١٧٠ - يبين الجدول ٤ الجرعات الفعالة الجماعية النمطية الصادرة على مدى ٥٠ سنة من الممارسة في هذا الميدان بالنسبة لجميع مصادر التعرض الهامة ولأحداث منفردة وقعت منذ نهاية عام ١٩٤٥. والأسس التي تستند إليها القيم الواردة في هذا الجدول مذكورة في الأجزاء السابقة من هذا الفرع، وهي بدورها تلخص التقييمات التفصيلية الواردة في مرفقات هذا التقرير.

١٧١ - والجدول ٤ يظهر الأهمية النسبية لمصادر الإشعاع من حيث الجرعات الجماعية الناتجة عنها. وأكبر مصادر الإشعاع على الإطلاق هو مجموع المصادر الطبيعية. كما أن سكان العالم قاطبة يتعرضون للأشعة الكونية وللإشعاعات الصادرة من النظائر المشعة للبيوتاسيوم واليورانيوم والراديوم والثوريوم، وغيرها، الموجودة طبيعيا في التربة والمياه والأغذية والجسم نفسه. ومصدر الإشعاع التالي في الأهمية هو الاستخدام الطبي للأشعة السينية والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية التي تستخدم في مختلف الفحوص التشخيصية والعلاجات. وقد أدرجت في الجدول ٤ الجرعات المتلقاة من هذه التطبيقات في التشخيص والعلاج معا، مع أنها، إذا توخينا الدقة، غير قابلة للمقارنة من حيث الضرر الناتج عنها.

١٧٢ - وقد تضاءلت حالات التعرض الناشئة عن التجارب الجوية للأسلحة النووية. فممن إجراء آخر تجربة في عام ١٩٨٠ لم تجر أي تجارب أخرى. والجرعات المتأتية من توليد الطاقة الكهربائية بواسطة المفاعلات النووية ومن الحوادث العارضة ومختلف التعرضات المهنية لا تمثل سوى نسب صغيرة من الجرعة الجماعية، غير أن هذه النسب لها أهمية من زاوية حماية الأفراد من الإشعاع.

١٧٣ - وبصرف النظر عن الجرعات المتأتية من المصادر الطبيعية فإن تباين الجرعات الفردية على مدى الزمن، ومن مكان إلى آخر، يجعل تلخيص الجرعات الفردية على نحو متسق عملا مستحيلا. بيد أنه يمكن في هذا الصدد تقديم بعض المؤشرات.

١٧٤ - والجرعة الفعلية السنوية المتأتية من المصادر الطبيعية تقدر بنحو ٢,٤ مليسيفيرت، مع وجود قيم مرتفعة يمكن أن تصل عادة إلى ١٠ مليسيفيرت و ٢٠ مليسيفيرت. والإجراءات الطبية المستخدمة في البلدان المتقدمة النمو تؤدي عادة إلى تلقي الأفراد لجرعة فعالة سنوية تتراوح بين ١ مليسيفيرت و ٢ مليسيفيرت، وهي جرعة يتأتى ثلثها تقريبا من التشخيص الإشعاعي. أما متوسط الجرعات السنوية التي تلقاها الأفراد في منتصف السبعينات من جراء التجارب الجوية للأسلحة فقد ورد ذكره في تقرير اللجنة لعام ١٩٧٧. وفي ذلك الوقت كان معظم النويدات القصيرة الأجل قد تم انحلاله. والجرعات الفعالة السنوية كانت تقارب ٥ ميكروسيفيرت. أما

الجرعات الفعالة السنوية في ذروة التجارب فكانت تتراوح على الأرجح بين ١٠٠ ميكروسيفيرت و ٢٠٠ ميكروسيفيرت في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وكانت الجرعات الفعلية السنوية التي يتلقاها أشد الناس تعرضاً للإشعاعات من سكان المناطق المجاورة لمنشآت القوى النووية فإنها تتراوح بين ١ ميكروسيفيرت و ٢٠٠ ميكروسيفيرت. والجرعات الفعلية السنوية المهنية التي يتلقاها العمال الخاضعون للرصد تتراوح، عادة، بين ١ مليسيفيرت و ١٠ مليسيفيرت.

الجدول ٤ - الجرعة الجماعية الصادرة الى سكان العالم من جراء
ممارسات متواصلة طوال فترة ٥٠ سنة، أو من جراء
أحداث منفردة وقعت في الفترة من عام ١٩٤٥ الى
عام ١٩٩٢

المصدر	أساس حساب الجرعة الصادرة	الجرعة الفعالة الجماعية (مليون رجل سيفيرت)
المصادر الطبيعية	المعدل الجاري خلال ٥٠ سنة	٦٥٠
التعرض الطبي التشخيص المعالجة	المعدل الجاري خلال ٥٠ سنة	٩٠ ٧٥
التجارب الجوية للأسلحة النووية	نشاط منته	٣٠
الطاقة النووية	مجمّل النشاط حتى اليوم المعدل الجاري خلال ٥٠ سنة	٠,٤ ٢
الحوادث الجسيمية	الحوادث التي وقعت حتى الآن	٠,٦
التعرض المهني الطب الطاقة النووية الاستخدامات الصناعية الأنشطة الدفاعية التعدين لغير اليورانيوم المجموع (جميع المهن)	المعدل الجاري خلال ٥٠ سنة	٠,٠٥ ٠,١٢ ٠,٠٣ ٠,٠١ ٠,٤ ٠,٦

خامسا - إدراك مخاطر الإشعاع

١٧٥ - لعبارة "خطر محتمل" عدة معان مختلفة. فهي تستخدم كثيرا على نحو وصفي لغرض الإشارة الى إمكانية وقوع خسارة أو خطر، كما في عبارة "مخاطر رياضة الطيران بالمنزلة التعلقية". أما في السياقات التقنية فهي تستخدم بمعنى كمي، ولكن دون أي اتفاق عام على تعريفها. وكما تستخدم أحيانا بمعنى احتمال حصول نتائج معاكسة معينة، بل إنها تستخدم على نطاق واسع أيضا لتدل على الجمع بين احتمال وقوع النتيجة المعينة وخطورتها. وهذه المعاني المختلفة تسبب خلطا لدى الاختصاصيين؛ ولكن تأثيرها في موقف عامة الجمهور ضئيل على الأرجح. فالخطر المحتمل، بالنسبة الى الجمهور، لا ينطوي غالبا، إلا على دلالة وصفية أو نوعية. كما أنه قد ينظر الى بعض المخاطر المحتملة على أنها أسوأ من غيرها، وذلك، من ناحية، لأن احتمال حصول النتائج، المنتظرة أكبر ومن ناحية أخرى لأن النتائج، اذا ما حصلت، تكون أقل تقبلا. وليس ثمة محاولة - بل إن وجدت فهي لا تعدو أن تكون محاولة محدودة - لإجراء فصل شكلي بين هاتين الناحيتين أو الجمع بينهما في أي صيغة أخرى غير الإحساس الحدسي. ونظرة الجمهور الى الخطر المحتمل تؤثر فيها عوامل كثيرة. وتلك العوامل تشمل مصدر الخطر المحتمل وطبيعته، ومدى كونه جزءا مألوفا من الحياة، ودرجة الاختيار والتحكم التي يظن أنها متاحة للفرد، والثقة في المسبب الأصلي للخطر المحتمل أو الضابط الناظم له، بالإضافة الى أمور كثيرة أخرى. وأي مناقشة للخطر المحتمل، من الناحية الكمية لا بد أن تشمل على أحكام بعضها علمي وبعضها اجتماعي.

١٧٦ - وانطلاقا من هذه الخلفية، ليس ثمة من سبب لكي يتوقع المرء أن يكون موقف الجمهور تجاه الخطر المحتمل مشابها لموقف من يقومون بالتقدير الكمي للخطر المحتمل وتقييم أهميته وتولي ادارته. وتتمثل مهمة اللجنة في توفير تقديرات كمية للخطر المحتمل المرتبط بالاشعاعات المؤينة ويتم التعبير عن آثار التعرض للإشعاع من حيث احتمال حصولها، وبالعمر الضائع في حالة الوفاة، ودرجة خطورة الإصابة في غير حالات الوفاة. غير أن اللجنة ليست معنية بإصدار أحكام بشأن الأهمية النسبية التي تتسم بها أنواع الخطر المحتمل المختلفة التي يتعرض لها المجتمع، ولا بتولي ادارة الخطر المحتمل. ولذا فإن اللجنة تهدف الى عرض ما تتوصل اليه من نتائج بطريقة محايدة، وهي تظن أن من المستحسن أن تؤخذ في الحسبان، على نحو ما، الاختلافات المحتملة في طريقة استيعاب القراء غير الاختصاصيين لاستنتاجاتها.

١٧٧ - وأهم استنتاج هو أنه لا توجد طريقة موحدة يتم بها تقييم المخاطر المحتملة أو المقارنة بينها أو قبولها، سواء بين الأفراد أو المجتمعات. وتم إحراز تقدم كبير خلال العشرين سنة الأخيرة أساسا، في وضع أسلوب محكم البناء يتبع في عرض العوامل التي تؤثر في المدركات، وكذلك في تجميعها في فئات. ويتعلق بعض تلك العوامل بالميزات الشخصية وخبرات الفرد بذاته، ويرتبط بعضها الآخر بمميزات المجتمع الذي يعيش فيه ذلك الفرد، كذلك فإن جانبا كبيرا يتوقف في هذا الصدد على وعي الفرد بمصدر الخطر المحتمل قيد البحث وطابعه.

١٧٨ - وفي جميع المهن والأنشطة التي تنطوي على تعامل بالاشعاعات، تم التسليم بأن تقدير المخاطر المحتملة كميًا وإدراك كنهها هما مسألتان مهمتان. وكانت إحدى الصعوبات الكبرى في ادارة المخاطر المحتملة تتمثل في الاستجابة الى دواعي القلق لدى الأفراد والمجتمعات المحلية والمجتمع كله. ولقد دأب النهج الأساسي المتبع في

ادارة المخاطر المحتملة على تسويق الأنشطة أو الممارسات في هذا الميدان بالمنافع المتاحة، وكذلك على القيام بكل الاجراءات المعقولة من أجل تقليل المخاطر المحتملة. ووجهات النظر المتعلقة بمدى نجاح هذا النهج تعتمد بدرجة كبيرة على معرفة أصحابها.

١٧٩ - وإيصال المعلومات المتعلقة بالإشعاعات الى الجمهور تكتنفه صعوبات شديدة. وحتى في البلدان التي بلغت مستوى رفيعا من التقدم التكنولوجي، لا يعرف كثير من الناس ما هو الإشعاع، حتى بمعناه البسيط. وغالبية من يعرفون شيئا عن الإشعاع يربطون بينه وبين الحوادث والأسلحة والسقطة النووية والسرطان؛ كما أن القلة القليلة جدا منهم تربط بين الإشعاع والتشخيص الطبي أو لديها تصور للتعرض الاعتيادي للإشعة الخلفية الآتي من مصادر الإشعاع الطبيعية.

١٨٠ - واللجنة تسلم بأن الكثير من العوامل الخارجة عن نطاق اختصاصها تؤثر بدرجة كبيرة في الطريقة التي ينظر بها الى النتائج التي تتوصل اليها. ويتأثر قلق الجمهور إزاء مستويات الإشعاع وتأثيراته أيضا بما هو مدرك من الميزات التي تعزى الى مصدر الإشعاع والآثار الاجتماعية التي ينطوي عليها أكثر مما يتأثر بجسامة التعرضات والمخاطر المحتملة الناتجة عنه. ومع ذلك فإن اللجنة تقرر بأن من واجبها أن تقوم بتقييم التعرضات الإشعاعية وبتقديم تقديرات للمخاطر الإشعاعية المحتملة تكون قائمة على أساس سليم ومتسقة وغير متحيزة. ويجب كذلك أن تكون المعلومات المقدمة جديرة بالثقة، ويمكن إيصالها بوضوح، اذا ما أريد لها أن تسهم في التوصل الى اتخاذ قرارات إيجابية لصالح المجتمع كله.

سادسا - الخلاصة والمنظورات

ألف - مستويات التعرض

١٨١ - إن تقديرات اللجنة بشأن مستويات التعرض للإشعاعات في جميع أنحاء العالم آخذة في التحسن نتيجة للتحسن الحاصل في تقديم البيانات. وتوسعا في التعميم، يمكن للمرء أن يستنتج أن تحسين الطرائق الاجرائية يقلل التعرض لكل وحدة من الممارسة، بمقدار يكفي لمعادلة الزيادات الحاصلة في مستوى الممارسات.

١٨٢ - وبعض مصادر التعرض لها مفعول مستمر على مستو ثابت، في حين أن لبعضها الآخر مفعول مستمر لفترات طويلة دون أن يكون مستواه ثابتا، بالضرورة. وثمة مصادر أخرى هي عبارة عن أحداث منفردة، أو سلسلة من الأحداث المنفردة، كتجارب الأسلحة مثلا. والمصادر التي تطلق مواد مشعة في البيئة تصدر جرعاتها الإشعاعية على مدى فترات مطولة، ولذلك فإن الجرعات السنوية الناتجة لا توفر مقياسا مرضيا لقياس تأثيرها الإجمالي.

١٨٣ - وهذا التقرير يعرض الجرعة الجماعية التي تعرض لها سكان العالم، سواء أكانت متلقاة أو صادرة، بدءا من عام نهاية ١٩٤٥ وحتى نهاية عام ١٩٩٢ (٤٧ عاما)، من جراء الأحداث المنفردة، وخلال فترة ٥٠ سنة، على أساس المعدل الحالي للممارسة المتبعة أو للتعرض، بالنسبة لجميع المصادر الأخرى. ونتائج هذا العرض مبينة في الجدول ٤.

باء - الآثار البيولوجية

١٨٤ - إن اهتمام اللجنة بالآثار الإحيائية (البيولوجية) للإشعاع يتركز أساسا على الآثار الناجمة عن الجرعات المنخفضة. واحتمال وقوع هذه الآثار ضئيل، ولكنها تكون خطيرة عند وقوعها. غير أن القيود الإحصائية تحول دون الحصول بواسطة الدراسات العلمية الوبائية على تقديرات مباشرة للخطر المحتمل في حالة الجرعات المنخفضة، مما يجعل من الضروري التعويل على البيولوجيا الإشعاعية لتوفير أساس يستند إليه في تفسير نتائج الدراسات الوبائية. ومن ثم فإن الجمع بين وسائل علم الأوبئة وعلم الأحياء الإشعاعي، وخصوصا على المستويين الجزيئي والخلوي. يمثل أداة مفيدة في توضيح نتائج الجرعات الإشعاعية المنخفضة.

١٨٥ - ويعني واحد من أسرع ميادين العمل تقدما بآليات استحثاث السرطان نتيجة للتغيرات التي تحدث في البنية الجزيئية للحامض النووي الريبوزي المختزل (د. ن. أ.). ومع أنه يجري أيضا تحقيق تقدم سريع في دراسة الاختلالات الوراثية، لا يزال يتعين أن تستخلص التقديرات الكمية للمخاطر الوراثية المحتملة من الدراسات الحيوانية. وحتى التعرض لجرعات عالية من الإشعاعات في هيروشيما وناغازاكي، لم يتح الحصول، بدرجة كافية من الثقة، على تقديرات كمية للمخاطر الوراثية المحتملة.

١٨٦ - وعلى الرغم من التقدم السريع الذي تحقق في مجال البيولوجيا الإشعاعية، وتزايد كمية البيانات المستمدة من البحوث والدراسات الوبائية، لم تجد اللجنة بعد ضرورة لإجراء أي تغييرات جوهرية في تقديراتها الخاصة بالمخاطر المحتملة.

جيم - المنظورات

١٨٧ - إن تقديرات اللجنة بشأن التعرض للإشعاعات، وكذلك تقديراتها بشأن الخطورة الكامنة في هذا التعرض، تبين أن الإشعاع هو أحد العوامل الضعيفة المسببة للسرطان. وحالات الوفاة بالسرطان والممكن عزوه الى الإشعاعات المؤينة الآتي معظمها من مصادر طبيعية غير خاضعة لسيطرة الانسان تبلغ نسبتها نحو ٤ في المائة. ومع ذلك فإن هناك اعتقادا شائعا (ولكنه خاطئ) بأن جميع حالات الوفاة بالسرطان في هيروشيما وناغازاكي قد نتجت عن القصف الذري. غير أن الدراسات التي أجريت في هاتين المدينتين، وشملت فعلا جميع الأفراد الذين تعرضوا بشدة للإشعاعات، قد بينت أنه من أصل ٣ ٣٥٠ حالة وفاة بالسرطان لم يزد عدد الحالات التي يمكن أن تعزى الى التعرض الإشعاعي من جراء القصف الذري عن حوالي ٣٥٠ حالة فقط.

١٨٨ - وإحدى الطرق المتبعة في تقديم رؤية منظورية للآثار التي تنطوي عليها مصادر الإشعاع التي هي من صنع الانسان تتمثل في مقارنة الجرعات الناتجة عن تلك المصادر بالجرعات الناجمة عن المصادر الطبيعية. وهذا سهل من وجهة النظر العالمية التي تتناول إجمالي (أو متوسط) التعرضات على النطاق العالمي. وقد عرضت الجرعات الجماعية في الجدول ٤. بيد أن كثيرا من المصادر التي هي من صنع الانسان لا تعرض للإشعاعات سوى مجموعات محدودة من الناس. وما يرد في الفقرة التالية يهدف الى التمييز بين تلك الحالات.

١٨٩ - وعلى الصعيد العالمي تعادل سنة واحدة من الممارسة الطبية بالمعدل الحالي ٩٠ يوما تقريبا من التعرض لإشعاع المصادر الطبيعية، ولكن الجرعات الفردية الناجمة عن الاجراءات الطبية تتراوح بين الصفر (بالنسبة الى الأشخاص الذين لم يخضعوا للفحوص أو المعالجات) وعدة آلاف من الجرعات المتلقاة سنويا من المصادر الطبيعية (بالنسبة الى الأشخاص الذين يخضعون للعلاج الإشعاعي). وأكثر الجرعات الصادرة خلال سنة واحدة من العمليات الجارية في دورة الوقود النووي يتوزع على نطاق واسع، وهو يناظر التعرض للمصادر الطبيعية ليوم واحد تقريبا. وباستثناء الحوادث الجسيمة، فإن الجرعات التي يتلقاها أكثر الأفراد تعرضا للإشعاعات لا تتجاوز - بل نادرا ما تقارب - الجرعات المتأتية من المصادر الطبيعية. أما التعرض المهني على الصعيد العالمي فهو يناظر، حوالي ٨ ساعات من التعرض للمصادر الطبيعية، بيد أن التعرض المهني مقصور على نسبة صغيرة من العاملين في هذا الميدان. وفيما يخص هذه الفئة المحدودة فإن تعرضاتها تماثل التعرضات الناجمة عن المصادر الطبيعية. أما فيما يخص الفئات الفرعية الصغيرة فإن التعرضات المهنية لتلك الفئات تبلغ خمسة أضعاف التعرضات الناجمة عن المصادر الطبيعية. كذلك فإن الجرعة الجماعية الصادرة خلال ١٠ ٠٠٠ سنة نتيجة للتجارب النووية في الغلاف الجوي موزعة بطريقة منتظمة الى حد كبير وهي تناظر نحو ٢,٣ سنة من التعرض للمصادر الطبيعية. وهذا الرقم يمثل كل برنامج التجارب ولا يقارن بأرقام سنة واحدة من الممارسة. وقد أدى حادث واحد فقط في محطة نووية مدنية لتوليد الكهرباء، وهو الحادث الذي وقع في تشيرنوبيل، الى تعريض أفراد الجمهور لجرعات أكبر من الجرعات الناجمة عن التعرض للمصادر الطبيعية في سنة واحدة. وهذا الحادث يناظر، من وجهة النظر العالمية، حوالي ٢٠ يوما من التعرض للمصادر الطبيعية. ويرد في الجدول ٥ ملخص لهذه النتائج.

الجدول ٥ - التعرضات لإشعاع المصادر الاصطناعية معبرا عنها
كفترات معادلة من التعرض لإشعاع المصادر الطبيعية

المصدر	الأساس	الفترة المعادلة من التعرض لإشعاع المصادر الطبيعية
التعرضات الطبية	سنة واحدة من الممارسة بالمعدل الحالي	٩٠ يوما
تجارب الأسلحة النووية	الممارسة المنجزة	٢,٣ سنة
المحطات النووية لتوليد الكهرباء	إجمالي الممارسة حتى الآن سنة واحدة من الممارسة بالمعدل الحالي	١٠ أيام يوم واحد
الحوادث الجسيمة	الأحداث حتى الآن	٢٠ يوما
التعرضات المهنية	سنة واحدة من الممارسة بالمعدل الحالي	٨ ساعات

الحواشي

(١) أنشأت الجمعية العامة لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري في دورتها العاشرة المعقودة في عام ١٩٥٥. وقد حددت اختصاصات اللجنة في القرار ٩١٣ (د - ١٠) المؤرخ ٣ كانون الأول/ديسمبر ١٩٥٥. وكانت اللجنة في الأصل مكونة من الدول الأعضاء التالية: اتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفياتية، الأرجنتين، استراليا، البرازيل، بلجيكا، تشيكوسلوفاكيا، السويد، فرنسا، كندا، مصر، المكسيك، المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية، الهند، الولايات المتحدة الأمريكية، اليابان. وفيما بعد قامت الجمعية العامة، بموجب قرارها ٣١٥٤ جيم (د - ٢٨) المؤرخ ١٤ كانون الأول/ديسمبر ١٩٧٣، بتوسيع عضويتها لتشمل: ألمانيا (جمهورية - الاتحادية)، اندونيسيا، بولندا، بيرو، السودان. وبموجب القرار ٦٢/٤١ باء المؤرخ ٣ كانون الأول/ديسمبر ١٩٨٦، زادت الجمعية العامة عدد أعضاء اللجنة الى حد أقصى هو ٢١ عضوا، ودعت الصين الى الانضمام اليها.

(٢) للاطلاع على التقارير الفنية السابقة للجنة انظر الوثائق التالية، الوثائق الرسمية للجمعية العامة، الدورة الثالثة عشرة، الملحق رقم ١٧ (A/3838)؛ المرجع نفسه، الدورة السابعة عشرة، الملحق رقم ١٦ (A/5216)؛ والمرجع نفسه، الدورة التاسعة عشرة الملحق رقم ١٤ (A/5814)؛ المرجع نفسه، الدورة الحادية والعشرون، الملحق رقم ١٤ (A/6314 و Corr.1)؛ والمرجع نفسه، الدورة الرابعة والعشرون الملحق رقم ١٣ (A/7613 و Corr.1)؛ والمرجع نفسه، الدورة السابعة والعشرون، الملحق رقم ٢٥ (A/8725 و Corr.1)؛ والمرجع نفسه، الدورة الثانية والثلاثون، الملحق رقم ٤٠ (A/32/40)؛ والمرجع نفسه، الدورة السابعة والثلاثون، الملحق رقم ٤٥ (A/37/45)؛ والمرجع نفسه، الدورة الحادية والأربعون، الملحق رقم ١٦ (A/41/16)؛ والمرجع نفسه، الدورة الثالثة والأربعون، الملحق رقم ٤٥ (A/43/45)، ويشار في النص الى هذه الوثائق بوصفها تقارير الأعوام ١٩٨٥ و ١٩٦٢ و ١٩٦٤ و ١٩٦٦ و ١٩٦٩ و ١٩٧٢ و ١٩٧٧ و ١٩٨٢ و ١٩٨٦ و ١٩٨٨ على التوالي. وصدر تقرير عام ١٩٧٢ ومرفقاته العلمية بعنوان "الإشعاع المؤين: مستوياته وآثاره، المجلد الأول: المستويات والمجلد الثاني: الآثار" (منشورات الأمم المتحدة، أرقام المبيع A.72.IX.17 و 18). وكان عنوان تقرير عام ١٩٧٧ ومرفقاته هو "مصادر الإشعاع المؤين وآثاره" (منشورات الأمم المتحدة، رقم المبيع A.77.IX.1). أما تقرير عام ١٩٨٢ فعنوانه "الإشعاع المؤين: مصادره وآثاره البيولوجية" (منشورات الأمم المتحدة، رقم المبيع A.82.IX.8). وعنوان تقرير عام ١٩٨٦ ومرفقاته هو "الآثار الجينية والجسدية للإشعاع المؤين" (منشورات الأمم المتحدة، رقم المبيع A.86.IX.9). وصدر تقرير عام ١٩٨٨ ومرفقاته بعنوان "مصادر الإشعاع المؤين وآثاره وأخطاره المحتملة" (منشورات الأمم المتحدة، رقم المبيع A.88.IX.7).

(٣) سيصدر بوصفه أحد المنشورات المعدة للبيع.

المرفق الأول

قائمة بأعضاء الوفود الوطنية الذين حضروا دورات اللجنة من الثامنة والثلاثين إلى الثانية والأربعين

الاتحاد الروسي ^(ب)	ل. أ. ايليي (ممثل)، ر. أليكساخين، ر. م. باراخوداروف، ي. بولدakov، ف. بيبيشكو، ن. أ. دلغوفا، أ. غوسكوفا، د. ف. خوخلوا، ي. خولينا، ي. كومارف، أ. بافلوفسكي، ج. ن. رومانوف
الأرجنتين	د. بنينسون (ممثل)، إ. داماتو، س. آرياس، د. كانسيو، أ. كورتى، إ. بالاسيوس
استراليا	ك. ه. لوكان (ممثل)
ألمانيا ^(د)	أ. كاول (ممثل)، ف. بوركارت، أ. ه. إيلنغ، ف. ياكوبي، أ. م. كيلير، ف. إ. ستيفه، ك. شتريفر
اندونيسيا	س. سويكارنو (ممثل)، س. ويريسيمين (ممثل)، ك. ويهارتو
البرازيل	إ. بينا فرانكا (ممثل)، ج. لاندمان - ليبستين
بلجيكا	ج. ميزان (ممثل)، ر. كيرشمان، ه. ب. لينهوت، ب. ه. م. لومان، ك. سانكارانارايانان، ر. سمسترز
بولندا	ز. يافوروفسكي (ممثل)، ج. يانكوفسكي، ج. لينيتشكي، أو. روزيك، س. ستيرلينسكي، إ. تزوميل
بيرو	ل. ف. بينيوس آشتون (ممثل)
سلوفاكيا ^(هـ)	م. كليميك (ممثل)

(أ)	في الدورتين الثامنة والثلاثين والتاسعة والثلاثين: جمهورية ألمانيا الاتحادية.
(ب)	في الدورات الثامنة والثلاثين والتاسعة والثلاثين والأربعين: اتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفياتية.
(ج)	في الدورات الثامنة والثلاثين والتاسعة والثلاثين والأربعين والحادية والأربعين: تشيكوسلوفاكيا.

المرفق الأول (تابع)

السودان	ع. إ. الأمين (ممثّل)، أ. هداية الله (ممثّل)
السويد	ج. بنغتسون (ممثّل)، ل. إ. هولم، ي. أ. سينس، ل. شوبيرغ
الصين	لي ديبينغ (ممثّل)، ليو هونغكسيانغ (ممثّل)، واي لوكسين (ممثّل)، لنغ روبينغ، بان زياكسيانغ، تاو زوفان، وو ديشانغ
فرنسا	ب. بلران (ممثّل)، إ. كارديس، ر. كولون، ر. دوترويو، أ. فلوري - هيرارد، ه. جاميه، ج. لافوما، ج. لومير، ر. ماس
كندا	إ. ج. ليتورنو (ممثّل)، أ. أرسينو، د. ر. شامب، ر. م. شاتيرجي، ب. ج. دوبور، ف. إلاغوبيلاي، ن. إ. غنتنر، ب. ك. لنتل، د. ك. مايرز
مصر	م. ف. أحمد (ممثّل)، ف. ه. حماد (ممثّل)، ف. محمد (ممثّل)، ه. م. رشدي (ممثّل)، س. إ. حشيش
المكسيك	إ. أرايكو سالازار (ممثّل)
المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية	ج. دنستر (ممثّل)، ر. ه. كلارك، ج. دينيكامب، السير ريتشارد دول
الهند	د. ف. غوبيناث (ممثّل)، أ. مادھفناث (ممثّل)، ن. ك. نوتاني (ممثّل)
الولايات المتحدة الأمريكية	ف. أ. متلر (ممثّل)، ل. ر. أنسبو، ج. د. بويس، ك. و. إدنغتون، ج. ه. هارلي، ن. ه. هارلي، سي. ماينهولد، ب. ب. سيلبي، و. ك. سنكلير، إ. و. وبستر، ه. أ. واكوف
اليابان	ه. ماتسودايرا (ممثّل)، ي. هوسودا، ت. إيواساكي، أ. كاساي، س. كومازاوا، ت. ماتسوزاكي، ه. نوغوتشي، ك. ساتو، ك. شينوهارا، ي. يانو

المرفق الثاني

قائمة بأسماء الموظفين العلميين والخبراء الاستشاريين الذين تعاونوا مع اللجنة في إعداد هذا التقرير

د. بنينسون
ب. ج. بينت
أ. بوفيل
ر. كوكس
ج. دنستر
د. غودهيد
ل. إ. دو جير
ج. هال
ل. إ. هولم
ج. ن. كيللي
م. اوريوردان
ف. ي. شول
ب. سيلبي
ي. ف. ستاثر
ج. فالنتين
ف. فوغل

— — — — —