

Distr.
GENERAL

A/48/46
23 September 1993
ARABIC
ORIGINAL: ENGLISH

الجمعية العامة



الدورة الثامنة والأربعون

تقرير لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار
الإشعاع الذري الى الجمعية العامة*

* هذه الوثيقة طبعة مستنسخة بالاستنسل من تقرير لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري. وسيصدر التقرير فيما بعد بوصفه: "الوثائق الرسمية للجمعية العامة، الدورة الثامنة والأربعون، الملحق رقم ٤٦ (A/48/46).

المحتويات

<u>الصفحة</u>	<u>المقرات</u>	
٤	٩ - ١	أولا - مقدمة
٦	٦٤ - ١٠	ثانيا - الآثار البيولوجية للاشعاع المؤين
٨	٤٩ - ١٧	ألف - البيولوجيا الاشعاعية
٨	٢٦ - ١٧	١ - هدف الفعل الاشعاعي
١٠	٤٩ - ٢٧	٢ - آثار التغيرات المستحثة في الراموز الوراثي الخلوي
١٤	٦٤ - ٥٠	باء - علم الأوبئة
١٨	١١١ - ٦٥	ثالثا - التقديرات الكمية لآثار الاشعاع
١٨	٧٨ - ٦٥	ألف - الكميات والوحدات
١٩	٧٢ - ٦٦	١ - قياس كميات الجرعات
٢٠	٧٨ - ٧٣	٢ - الخطورة والضرر
٢٢	١١١ - ٧٩	باء - الآثار التي تصيب الانسان
٢٢	٩٥ - ٨٢	١ - الآثار القطعية
٢٥	١٠٧ - ٩٦	٢ - السرطان المستحث بالاشعاع
٢٨	١١١ - ١٠٨	٣ - الآثار الوراثية
٢٩	١٧٤ - ١١٢	رابعا - مصادر التعرض للاشعاع
٢٩	١١٧ - ١١٢	ألف - أساس المقارنات
٣٠	١٧٤ - ١١٨	باء - مستويات التعرض
٣٠	١٢٠ - ١١٨	١ - التعرضات المتأتية من المصادر الطبيعية
٣١	١٣٤ - ١٢١	٢ - التعرضات الطبية
		٣ - التعرضات المتأتية من التفجيرات النووية ومن انتاج الأسلحة النووية
٣٥	١٤٠ - ١٣٥	٤ - التعرضات الناجمة عن انتاج الطاقة الكهربائية النووية ..
٣٦	١٤٦ - ١٤١	٥ - تعرض الجمهور للاشعاع نتيجة للحوادث الكبرى
٣٩	١٥٦ - ١٤٧	٦ - حالات التعرض المهني
٤١	١٦٩ - ١٥٧	٧ - ملخص المعلومات الحالية
٤٥	١٧٤ - ١٧٠	

المحتويات

<u>الصفحة</u>	<u>المقرات</u>	
٤٧	١٨٠ - ١٧٥	ادراك مخاطر الاشعاع
٤٨	١٨٩ - ١٨١	الملخص والمنظورات
٤٨	١٨٣ - ١٨١	ألف - مستويات التعرض
٤٩	١٨٦ - ١٨٤	باء - الآثار البيولوجية
٤٩	١٨٩ - ١٨٧	جيم - المنظورات

التذييلات

٥٢	قائمة بأعضاء الوفود الوطنية الذين حضروا دورات اللجنة من الثامنة والثلاثين الى الثانية والأربعين
٥٤	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 (الأونسيف)^(١) إلى 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، وجرى وضع مادة التقرير في الدورات السنوية للجنة على أساس ورقات عمل أعدتها الأمانة وكادت تعدل وتنقح من دورة إلى أخرى لكي تجسد آراء اللجنة. والتقرير يستند بشكل رئيسي إلى البيانات التي قدمتها الدول الأعضاء حتى نهاية عام ١٩٨٩. وقد استخدمت معلومات أحدث عهدا 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) وأ. ليتورنو (كندا) ول. بينيلوس آشتون (بيرو)؛ الدورة الثانية والأربعون: أ. ليتورنو (كندا) ول. بينيلوس آشتون (بيرو) و ج. بينغستون (السويد). وترد في التذييل الأول أسماء الخبراء الذين حضروا دورات اللجنة من الثامنة والثلاثين إلى 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 وترد أسماؤهم في التذييل الثاني، 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 إليها اللجنة في مداولاتها النهائية.

٥ - وقد حضر دورات اللجنة التي عقدت خلال الفترة المستعرضة ممثلو برنامج الأمم المتحدة للبيئة ١٢ (اليونيب) ومنظمة الصحة العالمية والوكالة الدولية للطاقة الذرية واللجنة الدولية المعنية بالحماية من الاشعاع واللجنة الدولية المعنية بوحدات ومقاييس الاشعاع. 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 إلى تقارير "الأونسيف" السابقة وتأخذ في الاعتبار ما توفر من ذلك الحين من معلومات علمية. وقد

أدرج في تقرير اللجنة لعام ١٩٨٨ استعراض تاريخي كبير لعمل اللجنة، وهو استعراض شمل تطور المفاهيم والتقييمات. وهذا التقرير يتضمن مقدمة عامة عن الآثار البيولوجية للاشعاع المؤين، تقوم على الفهم الحالي لهذه المسألة (الفصل الثاني). ومن أجل قياس الآثار البيولوجية للاشعاع قياسا كيميا وتحديد حالات التعرض التي تتسبب فيها، يلزم فهم كميات الاشعاع ووحداته، (انظر الفصل ثالثا، الفرع ألف).

٧ - ويجري تقدير عواقب التعرض للاشعاع (الفصل ثالثا، الفرع باء) باستخدام نتائج البحث البيولوجي الاشعاعي مقترنا باستخدام نتائج الدراسات الوبائية للسكان المتعرضين للاشعاع. ويرد في الفصل الرابع تلخيص وتقييم لمختلف مصادر تعرض الانسان للاشعاع. وتقدر الجرعات بالاستناد الى المعلومات الواردة في المؤلفات المنشورة، وتستكمل هذه المعلومات بالبيانات التي قدمها العديد من الدول الأعضاء في الأمم المتحدة. وفي كثير من الأحيان، يجب على الذين يستخدمون تقارير اللجنة أن يأخذوا في الاعتبار كيفية تصور الناس للمخاطر المرتبطة بالاشعاع المؤين ويتوقف هذا التصور على عوامل وتفاعلات شخصية ومجتمعية مختلفة. وترد في الفصل "خامسا" مناقشة المعالم الرئيسية لادراك الخطر الاشعاعي. في حين يتضمن الفصل "سادسا" خلاصة وجيزة واشارة ما الى المنظورات.

٨ - واللجنة تدرك كثرة قراء هذا التقرير المقدم الى الجمعية العامة ومرفقاته العلمية. فالأفراد وأعضاء الحكومات في مختلف بلدان العالم يساورهم قلق ازاء مخاطر الاشعاع الممكنة. وييدي العلماء والأخصائيون الطبيون اهتماما بالبيانات المجمع في تقارير اللجنة وبالمنهجيات المعروضة لاجراء تقديرات الاشعاع. واللجنة تعمد، في أداء عملها، الى أعمال تقديراتها العلمية في ما تستعرضه من مواد، وتحرص على الاحتفاظ بموقف مستقل ومحاييد 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 موجهين أساسا الى الأخصائيين.

٩ - ووفقا للممارسة المرعية، لا يحال الى الجمعية العامة سوى متن التقرير. أما التقرير الكامل، الذي يتضمن المرفقات العلمية، فسيصدر على شكل منشور من منشورات الأمم المتحدة المخصصة للبيع. والغرض من هذه الممارسة هو تحقيق تعميم أوسع للنتائج التي تم التوصل اليها لكي تستفيد منها الأوساط العلمية الدولية. وتود اللجنة أن تلفت انتباه الجمعية العامة الى أن متن التقرير مقدم منفصلا عن مرفقاته العلمية حرصا على سهولة الاستعمال لا غير. 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 الأمد وطويلة الأمد. وإذا حدث ضرر خلوي ولم يجر إصلاحه كما ينبغي، فإن ذلك الضرر قد يحول دون بقاء الخلية على قيد الحياة أو تكاثرها، أو قد يفضي إلى خلية قابلة للحياة ولكن محورة. ولكلتا النتيجتين آثار مختلفة اختلافا كبيرا في الكائن العضوي بكامله.

١١ - وعمل معظم أجهزة الجسم وأنسجته لا يتأثر بفقدان عدد قليل من الخلايا، بل وأعداد كبيرة منها في بعض الأحيان. غير أنه إذا كان عدد الخلايا المفقودة في نسيج ما كبيرا بما فيه الكفاية، وكانت هذه الخلايا هامة بالقدر الكافي، سيترتب على ذلك ضرر ملحوظ يتجسد في تعطل وظيفة النسيج. واحتمالات حدوث هذا الضرر معدومة عندما تكون جرعات الإشعاع صغيرة، لكن هذا الاحتمال يزداد ازديادا حادا إلى درجة الحتمية (١٠٠ في المائة) إذا تجاوزت الجرعة مستوى معيناً (العتبة). كذلك فإن شدة الضرر تزداد مع زيادة الجرعة بعد تجاوز العتبة. وهذا النوع من الأثر يدعى قطعياً، لأن حدوثه مؤكد إذا كانت الجرعة كبيرة بالقدر الكافي. وإذا كان يمكن تعويض فقدان الخلايا من خلال التكاثر، فإن الأثر المترتب على ذلك سيكون قصير الأمد نسبياً. وإذا كانت الجرعات ناتجة عن حادثة بينة فسيكون ممكناً في العادة تحديد الأفراد المتضررين. وبعض الآثار القطعية لها خصائص تميزها عن آثار مماثلة ناتجة عن أسباب أخرى، مما يمكن أن يساعد على تحديد الأفراد المتضررين. وقد جرى في بعض الأحيان الكشف عن وقوع حادثة بادية وذلك بظهور آثار قطعية على غير توقع.

١٢ - وتختلف النتيجة اختلافا كبيرا إذا حورت الخلية المشععة ولم تمت. فقد تكون قادرة عندئذ على إنتاج 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 تماماً في كل الأوقات. وهكذا، فإن نسيلة الخلايا الناتجة من خلية جسدية محورة ولكن قابلة للحياة يمكن أن تتسبب، بعد فترة مختلفة في الطول تدعى فترة الكمون، في ظهور حالة خبيثة، أي سرطان. وبازدياد الجرعة يزداد احتمال الإصابة بالسرطان لا شدتها. وهذا النوع من الأثر يدعى عشوائياً، بما يعني أنه "ذو طابع عشوائي أو احصائي". وإذا حدث الضرر في خلية وظيفتها نقل معلومات وراثية إلى أجيال لاحقة فإن الآثار، التي يمكن أن تكون عديدة ومختلفة من حيث النوع والشدة، ستتكشف في نسل الشخص المعرض. وهذا النوع من الأثر العشوائي يدعى أثراً وراثياً. وحتى إذا كانت الجرعات معروفة فإن حالات الإصابة بالسرطان، أو باختلالات وراثية، لا يمكن اكتشافها إلا بطريقة احصائية: أي أنه يتعذر تحديد الأفراد المصابين. ويرد أدناه مزيد من التفاصيل.

١٣ - والتعرض للإشعاع يهم اللجنة أساساً لما يحدثه من تغيرات في مجموعة المخاطر التي تتهدد البشرية. ولذلك، لا يزال جزء كبير من عمل اللجنة يتمثل في استعراض، وتفسير، البيانات التي تتيح فهماً أفضل للعلاقات الكمية بين التعرض للإشعاع وتأثيره في الصحة. فباستثناء ما ينتج عن الحوادث الخطيرة

وتشعيع الأنسجة السليمة، وهو ما ليس مستحبا ولكن لا مضر منه عند العلاج بالأشعة، ليست الجرعات التي تنفذ الى الانسان 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 العشوائية في الكائنات البشرية.

١٤ - وأنسب مصادر المعلومات المتعلقة بالآثار البيولوجية للاشعاع هي المعلومات التي يتم الحصول عليها مباشرة من الدراسات المتعلقة بالجماعات البشرية المعرضة لكميات معروفة ومختلفة من الاشعاع. والدراسة المقارنة لصحة هذه الجماعات تعرف بعلم الأوبئة، وهو اختصاص علمي يتطلب مهارات طبية ورياضية. وترد مناقشتها في الفرع "ثانيا- باء". وبالإضافة الى ذلك فإن ثمة قدر كبير من المعلومات عن آليات الضرر والعلاقات بين الجرعة واحتمال حدوث آثار ضارة في الانسان يمكن استمداده من البحوث البيولوجية التي تجرى على الخلايا المعزولة المستزرعة في أنابيب الاختبار وعلى الحيوانات. فهذا 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 تكهنات كمية للمخاطر التي تتهدد البشر استنادا الى بيانات خاصة بالبشر، ولكن عندما لا تتوفر بيانات خاصة بالبشر، قد يتطلب الأمر استخدام البيانات الخاصة بالحيوانات مباشرة.

١٥ - والاهتمام العملي الرئيسي بمخاطر الاشعاع يتركز في دائرة الجرعات ومعدلات الجرعات الصغيرة التي تشاهد في العمل بالأشعة أو في نواح أخرى من الحياة اليومية. غير أن الحاصل هو أن أمتن المعلومات الوبائية تأتي من حالات تنطوي على جرعات ومعدلات جرعات كبيرة. ويجري الآن اعداد بعض الدراسات عن جرعات تستأثر باهتمام مباشر أكثر، كالجرعات التي يتعرض لها العاملون بالأشعة 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، وخاصة بأن تعقد بين الجرعة والاستجابة صلات يمكن تطبيق بارامتراتهما على النتائج الملاحظة للبحوث الوبائية. كذلك فإن المعلومات التي توفرها البيولوجيا التجريبية تستكمل بالمعارف البيوفيزيائية المتعلقة بالترسب الأولي للطاقة الناجمة عن الاشعاع في الأنسجة المعرضة. ومن ثم، تستجمع النتائج النظرية والتجريبية معا للتوصل الى علاقة كمية بين الجرعة واحتمال حدوث السرطان المتصل بها.

ألف- البيولوجيا الاشعاعية

١ - هدف الفعل الاشعاعي

١٧ - يعد الحامض النووي الريبوزي المنقوص الأوكسجين (د. ن. أ.)، وهو المادة الحاملة للخصائص الوراثية للخلايا، أهم أهداف الفعل الاشعاعي. وتدل البحوث الخلوية المخبرية بصورة قطعية على أن آثار الاشعاع الضارة نابعة أساسا من الضرر الذي يحدثه في حمض "د. ن. أ." الخلوي.

١٨ - ويوجد حمض "د. ن. أ." في الكروموسومات التي هي المكونات الأساسية لنواة الخلية. فقبل كل انقسام لخلايا الجسم، تتضاعف الكروموسومات بحيث تتلقى كل خلية وليدة مجموعة مطابقة للأخرى من الكروموسومات. ويتميز كل نوع من الثدييات بعدد وحجم وشكل خاص وثابت من الكروموسومات.

١٩ - ولتوضيح آليات وقوع الضرر الذي يلحقه الاشعاع المؤين بالخلايا، يلزم تقديم وصف مبسط لوظيفة جزيء "د. ن. أ.". فمع أن الابقاء على التركيبة الكروموسومية العامة أمر أساسي لعدة عمليات تشمل حامض "د. ن. أ." فإن لبوليمر "د. ن. أ." ذاته هو مصدر المعلومات التي تنتقل من خلية الى نسلها. وتشفر المعلومات في تسلسل خطي من التراكيب الجزيئية المتناوبة التي تدعى القرينتين القاعديتين. وتشكل هذه القرائن صلات بين ضفائر العمود الفقري لبوليمر "د. ن. أ." المزدوج الضفائر.

٢٠ - وينتظم راموز القرائن القاعدية في "د. ن. أ." في مجموعات، يوفر كل منها الوحدة الأساسية للمعلومات والخصائص الوراثية الخلوية، أي الجينة. ففي خلية الثدييات، يرجح أن يكون هنالك قرابة ١٠٠ ٠٠٠ جينة، تعتمد كل منها في حسن أداء وظيفتها على الاحتفاظ بتسلسل ثابت من القرائن القاعدية في "د. ن. أ.". فأى تغيرات تحدث في هذه التسلسلات، باستبدال قرائن قاعدية بأخرى أو بفقدانها أو بإضافة قرائن أخرى إليها، يمكن أن تغير وظيفة الجينة. ويطلق على هذه التغيرات تعبير "الطفرات الوراثية".

٢١ - ومن المعروف أن حامض "د. ن. أ." يتضرر بالاشعاع. وثمة آليتان لحدوث ذلك، هما: (أ) الآثار المباشرة للتأين في تركيبه "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 الى "د. ن. أ."، حيث تستحث تغيرات كيميائية. ولكل من الآثار المباشرة وغير المباشرة طابع احتمالي، مع تزايد احتمالات حدوثها تبعا للجرعة الاشعاعية وحجم الهدف. وهنالك مسببات عديدة أخرى لتضرر "د. ن. أ." منها الأخطاء الحاصلة في التنسخ عند انقسام الخلايا.

٢٢ - والضرر اللاحق بحمض "د. ن. أ."، بما في ذلك الضرر الاشعاعي، يخضع لآليات اصلاح فعالة جدا تتأتى بفعل الخمائر. فاذا كان الضرر اللاحق بحمض "د. ن. أ." في احدى الجينات محصورا في ضفيرة

واحدة، استطاعت آليات الاصلاح استخدام المعلومات التي توفرها القواعد المكتملة الموجودة في الضفيرة الأخرى. وعندئذ تكون احتمالات الاصلاح عالية؛ لكن الاصلاح، مثلما هو الحال في أي نظام معقد، ليس خاليا من الأخطاء دائما. ففي بعض الأحيان، قد تكون الضفيرتان كلتاهما متضررتين في نفس الموقع من الجينة. وعندئذ يصبح الاصلاح أصعب وتزداد احتمالات حصول تغير أو فقدان في الراموز الوراثي.

٢٣ - ويتألف مسار الإشعاع من سلسلة من الأحداث المنفصلة، ينطوي كل حدث منها على ترسب موقعي للطاقة. فاذا 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 ضفائر 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 وخمائر الاصلاح الخلوية، ففي حالة الاشعاعات الخفيفة التأيين، مثل الأشعة السينية، يكون لهذه العمليات أثر صاف يجعل العلاقة بين الجرعة والأثر، بالنسبة لمعظم الآثار العفوية، ذات منحنى غير خطي. أما الاشعاعات الكثيفة التأيين، مثل جسيمات ألفا والبروتونات التي تنتجها النيوترونات، فهي أكثر فعالية في احداث أثار عضوية، ويرجح أن تكون العلاقات بين الجرعة والأثر خطية المنحني.

٢٤ - فضلا عن هذه الآثار التي تقع في نقطة واحدة في جزيء "د. ن. أ"، يمكن أن يتسبب وجود عدد من الأزواج الايونية 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 الاشعاع في حدوث تغيرات معينة في الراموز الوراثي للخلايا بواسطة مسارات منفردة، والتفاعل الاضافي 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، تنحصر الفعالية في الحد المتناسب مع الجرعة. أما في حالة الجرعات الكبيرة، بمعدل جرعة عال، فيكون الحدان فعالين. وفي حالة الاشعاع الكثيف التأيين، مثل جسيمات ألفا، تكون المسارات أقل عددا ولكن أكثر كثافة، في كل وحدة جرعة؛ ومن الأرجح أن يحدث كل مسار ضررا يتعذر اصلاحه، وبالتالي، فانه من الأرجح أن تكون العلاقة مع الجرعة، أيا كان مقدارها ومعدلها، علاقة تناسبية.

٢٦ - وعندما تتعرض الأنسجة البشرية للاشعاع، تستحث عشوائيا تغيرات شتى في الراموز الوراثي الخلوي (طفرات)، وتكون الاحتمالات متوقفة على الجرعة حسبما سبقت مناقشته. وفي أي تغير، يكون العدد المتوقع للخلايا المحورة مرتبطا باحتمال التعرض وعدد الخلايا المعرضة. ويعتبر أن هذه الخلايا المعرضة هي الخلايا الجذعية للأنسجة، أي الخلايا التي تبقي على الأنسجة بالانقسام، بحيث تعوض عن الخلايا التي تنضج وتمايز وتموت في النهاية، وفي اطار ذلك ما يدعى بدورة التكاثر الخلوي.

٢ - آثار التغيرات المستحثة في الراموز الوراثي الخلوي

٢٧ - تتعارض بعض التغيرات في الراموز الوراثي الخلوي مع استمرار النشاط التكاثري للخلية، بما يؤدي الى هلاك نسل الخلية. وما لم تقتل خلايا عديدة، لا يكون لهذا في العادة أية 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 المخبرية للحصول على معلومات عن شكل العلاقة بين الجرعة والاستجابة. وتدل حوادث الاشعاع والتجارب المجراة على الحيوانات الحية أن الجرعات الكبيرة يمكن أن تستنفذ الأنسجة بما فيه الكفاية لحدوث قصور وظيفي. ومن شأن الآثار القطعية في بعض الأنسجة، مثل الأنسجة الوعائية والضامة، أن تسبب بدورها ضررا ثانويا في أنسجة أخرى.

٢٩ - وثمة أنواع أخرى من التغيرات في الراموز الوراثي تؤدي الى خلايا قابلة للحياة ولكن محورة. وقد ينتمي بعض هذه الخلايا الى أنساق خلوية منسلية (البويضة أو المنى) ويجسد ذلك التغير في آثار وراثية. أما البعض الآخر فيبقى في الأنسجة المعرضة، حيث يمكن أن تتسبب في أحداث آثار جسدية. وفي كلتا الحالتين، تكون الآثار عضوية حيث يحكمها الطابع الاحتمالي لاستحثاث التغيرات في الراموز الوراثي الخلوي.

(أ) الآثار القطعية

٣٠ - في حين أن هلاك الخلايا المنفردة يمثل أثرا عشوائيا، فإن قصور الأعضاء والأنسجة يتطلب قتل أعداد كبيرة من الخلايا وله بالتالي حدود جرعية. واستنفاد الخلايا عملية دينامية تسير بالتنافس مع تكاثر الخلايا السليمة. ولذلك فإن القصور النسيجي يتوقف على كل من الجرعة والمعدل الجرعي. وعلى الرغم من أن التغيرات في الخلايا المنفردة عشوائية، فإن التغيرات التي تلحق بعدد كبير من الخلايا تفضي الى نتيجة قطعية. ولذلك تدعى هذه الآثار قطعية.

٣١ - ونظرا لأن نسبة الخلايا المقتولة تتوقف على الجرعة فإن شدة الأثر القطعي تتوقف أيضا على الجرعة. فإذا تعرض للاشعاع أناس يختلفون من حيث درجة الحساسية فإن بلوغ الحد اللازم، لحصول آثار قطعية في نسيج معين، وبشدة كافية بحيث يمكن ملاحظتها، يتطلب جرعات أقل في الأفراد الأكثر حساسية. ومع ازدياد الجرعة، يزداد عدد الأفراد الذين سيظهر عليهم الأثر الملحوظ، وبعد جرعة معينة يظهر الأثر على المجموعة بكاملها.

٣٢ - ومن أمثلة الآثار القطعية، يذكر أحداث العقم المؤقت والدائم في الخصيتين والمبيض؛ واضعاف فعالية نظام تكوين الدم، مما يؤدي الى نقصان عدد خلايا الدم؛ واحمرار الجلد وتقشره وتقرحه، مما يمكن

أن يؤدي الى فقدان البشرة؛ وإحداث الظلاله في العدسات والاعتلال البصري (السد)؛ وعمليات الالتهاب التي يمكن أن تصيب أي عضو. وتكون بعض الآثار غير مباشرة من حيث كونها ناتجة عن آثار قطعية لحقت بأنسجة أخرى. فالاشعاع الذي يتسبب في التهاب الأوعية الدموية وتليفها في النهاية، على سبيل المثال، قد يفضي الى احداث ضرر بالأنسجة التي تغذيها تلك الأوعية الدموية.

٣٣ - وهناك حالة خاصة من الأثر القطعي هي متلازمة الاشعاع الناتجة عن التشعيع الحاد لكامل الجسم. فاذا كانت الجرعة عالية بما فيه الكفاية، يمكن أن تحدث الوفاة نتيجة للاستنفاد الشديد للخلايا والالتهاب 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 الاشعاع القطعية في أوضح صورها عند تكون النسيج المعني. فقد يفضي قتل الخلايا الأساسية، ولو بأعداد قليلة، الى حصول تشوه، لأن هذه الخلايا لن تتكاثر. وهناك أثر هام للتعرض للاشعاع داخل الرحم، هو حدوث قصور عقلي يزداد تبعا للجرعة الى درجة التخلف العقلي الحاد.

٣٥ - ويعتقد أن حدوث التخلف العقلي ناتج عن قصور في تكاثر الخلايا العصبية وتمايزها وهجرتها وتواصلها وقت تكون النسيج المعني (قشرة الدماغ)، وهي الفترة التي تتراوح بين ٨ أسابيع و ١٥ أسبوعا بعد الاخصاب عند البشر. ويتوقف عدد الخلايا العصبية الرديئة التواصل على مقدار الجرعة. فاذا سلمنا، كتقريب أولي، بأن درجة القصور العقلي تتناسب مع هذا العدد، فمن المتوقع أن تجسد المؤشرات القياسية للوظائف الادراكية، مثل حاصل الذكاء، هذا الارتباط بمقدار الجرعة.

٣٦ - وفي الجماعات السكانية، يكون لحاصل الذكاء، تقريبا، توزيع طبيعي (غاوسي) اصطلح على أن تكون قيمته المركزية ١٠٠. وبما أن متوسط حاصل الذكاء ينخفض بارتفاع جرعة الاشعاع، وذلك فيما يبدو دون ارتفاع في حجم الانتشار (الانحراف المعياري)، فانه يمكن وصف الانخفاض في قيم حاصل الذكاء بأنه انتقال منتظم لمنحنى حاصل الذكاء الى اليسار (أي الى قيم أدنى). واذا جرى تعريف الحالة المرضية بأنها حالة يكون فيها حاصل الذكاء لدى فرد ما دون القيمة المفترضة، فان من شأن هذا الانتقال أن يزيد من عدد الأفراد المصابين بهذه الحالة المرضية. وهذا أمر هام لتفسير التخلف العقلي الذي يحدثه الاشعاع والذي يلاحظ بواسطة التحليل الوبائي، وهذا ما يتناوله الفرع ثالثا، باء، ا.

(ب) إحدات السرطان

٣٧ - هناك أدلة قاطعة على أن معظم حالات السرطان، ان لم تكن كلها، ناشئة عن ضرر لاحق بخلايا منفردة. فبداية السرطان تنطوي على فقدان ضبط النمو والتكاثر والتطور في الخلايا الجذعية للجسم، أي فقدان التحكم في دورة تكاثر الخلايا وعمليات تمايزها. وللطفرات النقطية والضرر الكروموسومي أدوار في بداية تكون الورم. ويمكن أن ينتج ذلك من تعطل نشاط الجينات المانعة لتكون الأورام والتي يؤدي

بعضها دورا أساسيا في ضبط دورة الخلية. ومع أن الخلايا قد تكون خضعت لتغيرات بادئة، فهي لن تظهر خصائصها الا عند حفزها ("دفعها") على التكاثر في بيئتها بواسطة الكيماويات والهرمونات وغيرها. ويمكن أن تكون العوامل الدافعة مستقلة عن العامل الباديء.

٣٨ - وعادة ما تكون التغيرات المنفردة في الراموز الوراثي الخلوي غير كافية لتكوين خلية محورة تماما قادرة على احداث سرطان؛ فهذا يتطلب سلسلة من الطفرات (ربما يتراوح عددها بين اثنتين وسبع). وفي حالات السرطان العشوائي، تحدث هذه الطفرات عشوائيا أثناء الحياة. وبالتالي، وحتى بعد التحول الخلوي الأولي والتخصيص، تظل هناك حاجة الى طفرات أخرى، ربما تكون متوفرة فعلا، لاكمال الانتقال النسيلى من طور ما قبل تكون الورم الى طور السرطان الظاهر. وتسمى العملية بأكملها "التسرطن المتعدد الأطوار".

٣٩ - ومن الممكن أن يكون للاشعاع فعل في عدة أطوار من عملية التسرطن المتعدد الأطوار، غير أن دوره الرئيسي يتمثل، فيما يبدو، في التحويل الأولي للخلايا الجذعية الطبيعية الى 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 كثيرا عن السن التي يظهر فيها السرطان الناشء عشوائيا. ولكن في بعض الحالات قد تتأثر الأطوار اللاحقة بالاشعاع، فيتغير بالتالي الوقت الذي يظهر فيه السرطان.

٤٠ - وبداية السرطان توفر للخلايا المستهدفة قدرا من التميز التكاثري أو الانتقائي يتجلى بعد تخصيص كاف. وقد تكون المزية وقتا أكثر للتكاثر مما في الخلايا الطبيعية، أو تعطى للتمايز الخلوي الطبيعي. ومن جهة أخرى، تكون الخلايا المحورة القليلة جدا مغمورة في عدد أكبر كثيرا من الخلايا الطبيعية، وبالتالي يمكن للخلايا المجاورة أن تعوق خصائصها السابقة لتكون الورم. ويعد الفكك من هذه المعوقات سمة أساسية لعملية تكون الورم.

٤١ - ويمكن القضاء على الخلايا المحورة ونسلها، على الرغم من مزاياها التكاثرية، من خلال العملية العشوائية التي تشمل التكاثر والتمايز النهائي والموت، والتي تكون مستمرة بانتظام في الأنسجة الناضجة. واحتمال القضاء على تلك الخلايا يتوقف على عدد الخلايا المحورة وعلى مدى ما اكتسبته من استقلالية. ولكي ينشأ السرطان، لابد أن تفضي خلية واحدة على الأقل الى نسيلة من الخلايا المحورة. ويرتبط احتمال حدوث ذلك بالجرعة وفقا لنوع العلاقة ذاته بين الجرعات (خطية أو خطية- تربيعية) مثلما جرت مناقشته بالنسبة للطفرات الموروثة داخل الخلية. وهذا يدعم عموما الرأي القائل بأن الاحداث الخلوية المستحثة عشوائيا مسؤولة عن احداث السرطان.

٤٢ - وتؤكد تجارب عديدة أجريت على الحيوانات الشكل المتكهن به للعلاقة بين الجرعة والاستجابة. وينبغي الاشارة الى أن هلاك الخلايا يكون كبيرا اذا كانت الجرعات كبيرة، بحيث يتنافس مع تحول الخلايا

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

(أ) ما لم يكن هناك اعتقاد بأن من غير المرجح أن تكون غالبية حالات السرطان ناشئة من خلية وحيدة، فليس من المتوقع أن تكون هناك عتبة للجرعة الدنيا:

(ب) إذا كان دور الإشعاع يتمثل أساساً في كونه حدثاً بادرًا، حيث يوفر طفرة من عدة طفرات لازمة، فيمكن توقع أن تكون النماذج التضاعفية لاسقاطات المخاطر على مدى الزمن أكثر واقعية من النماذج القائمة على الاضافة (أنظر أيضا الفرع "الثالث"، باء، ٢).

٤٣ - وثمة صعوبة 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 هو أن تطبق على البيانات علاقة خطية بين الجرعة والاستجابة، وهو إجراء يعتبر في العادة كفيلاً باعطاء حد أعلى للمخاطر عند التعرض لجرعات قليلة. وهذا يرجع إلى أن الحد التربيعي يزيد الاستجابة في حالة الجرعات الكبيرة، بمعدلات جرعة عالية، مما يفرض زيادة في انحدار الخط المستقيم المطبق. واستناداً إلى اعتبارات البيولوجيا الإشعاعية، يمكن إذن 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 القائمة على هذه الأنظمة وعلى الأورام الحيوانية، يمكن أن تكون مصادر معلومات مفيدة جدا عن آليات أحداث السرطان. وقد تمكن الدراسات الخلوية والجزيئية الحديثة من التمييز بين السرطان المحدث بالإشعاع وغيره من أشكال السرطان. وإذا تقرر القيام بخزن منتظم لعينات أورام مأخوذة من جماعات بشرية معرضة للإشعاع، فإن تلك العينات ستكون، عندئذ، مصدراً هاماً جداً للدراسات المقبلة المتعلقة بالآليات المكونة للورم ولإقامة علاقة سببية بين السرطان الذي يصيب الناس والمسببات الفيزيائية والكيميائية للسرطان في البيئة.

(ج) الآثار الوراثية

٤٥ - إذا حصل التغيير في الراموز الوراثي في الخلايا التناسلية، أي في البويضة أو المنى أو في الخلايا التي تنتجها، فإن الأثر ينتقل ويمكن أن يتجلى على شكل اختلافات وراثية في نسل الأفراد المعرضين. وتكشف الدراسات التجريبية التي أجريت على النباتات والحيوانات أن هذه التغييرات يمكن أن تتراوح بين طفيفة وشديدة، وتتسبب في فقد جسيم القدرة على الأداء الوظيفي وفي اختلافات خلقية وفي الوفاة المبكرة.

٤٦ - وأي ضرر غير مميت يصيب "د ٠ ن ٠ أ" في الخلايا التناسلية يمكن، من حيث المبدأ، أن ينتقل إلى الأجيال اللاحقة. والاختلالات الوراثية عند البشر تتباين تباينا واسعا من حيث شدتها. فالطفرات السائدة، أي التغيرات في الراموز الوراثي 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 انجاب ذرية. وهناك بضعة طفرات سائدة يمكن أن تنتقل بتكتم عبر عدة أجيال ثم تحدث آثارها فجأة. ويمكن أن يحدث هذا إذا خففت جينات أخرى من مفعول تلك الجينة أو إذا كانت الجينة موسومة، أي إذا كان ظهور مفعول الجينة متوقفا على جنس من أورثت عنه من الأبوين.

٤٧ - أما الطفرات المتنحية فهي التغيرات في الراموز الوراثي التي لا تحدث أثرا اكلينيكيًا إلا إذا ورثت نسختان من الجينة المعيبة، أي نسخة من كل من الأبوين في العادة. وتلك التغيرات تحدث أثرا قليلا في الأجيال القليلة الأولى، إذ أن معظم الذرية ستورث الجينة المعيبة عن أحد الأبوين فقط، فلا يتضرر حاملوها في العادة. غير أن الطفرات المتنحية قد تتراكم في الجمعية الجينية للسكان، إذ إن كل حامل للجينة المعيبة ينقل الطفرة إلى ذرية عديدة. وبازدياد احتمالات حمل كلا الأبوين لتلك الطفرة، تزداد أيضا مخاطر وراثة الطفل لنسختين من الجينة المعيبة، ومن ثم تصيبه الآثار 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 الجينة المعيبة، بحيث قد تؤدي إلى عيب تناسلي. كما أن الطفرات المتنحية التي تدخل على الجمعية الوراثية تخضع لعمليات تنزع إلى القضاء عليها: الإطراح العشوائي، ويسمى بالانجراف، والانتقاء القائم على عيب تناسلي. ولهذا السبب، تحدث الطفرات المتنحية المستحثة حديثا في جمعية الجينات ضررا تاما محددًا في أجيال الخلف.

٤٩ - وهناك نوع ثالث وكثير الانتشار من أنواع التغير الضار يعود إلى تفاعل عدة عوامل جينية وبيئية؛ وهي تعرف باختلالات المتعددة العوامل. ويتوقع لأي زيادة عامة في الطفرات أن تزيد في تواتر 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، لو 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 العشوائية التي يحدثها الإشعاع في الإنسان هي الدراسات الوبائية التي أجريت على الذين نجوا من تفجيري الأسلحة النووية 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، يكاد لا يكون هناك أمل في الخروج من الاختلافات بين حالات التعرض للمصادر الطبيعية (باستثناء الرادون) بمعلومات كمية عن الآثار العشوائية؛ ولكن بعض الأحداث التي تشمل انطلاق الرادون بمستويات مرتفعة أو حصول تلوث بيئي شديد نتيجة للحوادث يمكن، ولا شك، أن تتيح استبانة مجموعات دراسات أخرى ذات صلة.

٥١ - وعلم الأوبئة يعنى بوضع أنماط لحدوث الأمراض، ويربط هذه الأنماط بالأسباب المحتملة، ثم يحدد مقدار الترابط. وهذه العملية هي عملية معاينة واستدلال. والطبيعة الملازمة للدراسات الوبائية هي المعاينة: فهي تجرى 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 للعامل الذي ينصب عليه الاهتمام ودون الإشارة مسبقا إلى المرض الذي يدرس، كالسرطان مثلا. ثم تتابع هذه المجموعة مع تقدم الزمن لتسجيل عدد الوفيات أو الاصابات الناجمة عن الأمراض ذات الصلة. ويقدر تعرض أعضاء الفوج للعامل المسبب المشتبه فيه 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 الاصابات المرضية أو معدلات الوفيات التي تحصل في أعقاب التعرض لمستويات اشعاع مختلفة.

٥٣ - وإذا تعرض جميع أعضاء الفوج للإشعاع ولم يكن نطاق التعرض واسعا بما يكفي لاستبانة عدة مجموعات ذات مستويات تعرض مختلفة، كان من الضروري مقارنة ما يواجهه هذا الفوج بما يواجهه أفراد فوج مرجعي يكون تعرض أفراده أقل كثيرا. وينبغي، من الناحية المثالية، أن يكون الفوجان متشابهين كثيرا في الخصائص التي يمكن أن تؤثر في الإصابة بالمرض المدروس أو الوفيات الناجمة عنه. فإذا لم يكن الأمر كذلك، فإن هذه الخصائص قد تشكل عوامل التباس، وهي عوامل تشوه العلاقة المعاينة بين المرض والتعرض 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، يصبح بالإمكان أخذ هذه العوامل في الاعتبار. وينبغي أن يؤخذ في الاعتبار دائما، في حالة السرطان، العاملان الأكيدان اللذان هما السن والجنس. أما العوامل غير البارزة للعيان، التي منها النظام الغذائي والحالة الاجتماعية والاستعداد الوراثي، فقد تستمر ويكون من الصعب تحديد كميتها أو حتى تبينها.

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، ويتسع لديه

نطاق التعرض للإشعاع. ولا يزال حوالي ٦٠ في المائة من الفوج الأصلي على قيد الحياة، ولذا فإن الاستنتاجات الحالية لا تزال تستند إلى بيانات ناقصة، ولا سيما بالنسبة إلى الذين تعرضوا للإشعاع في شبابهم؛ لكن هذه الدراسة تظل أهم دراسة فوجية تستخدمها اللجنة.

٥٥ - أما في النوع الثاني من الدراسات، أي الدراسة الفردية المقارنة، فإن الهدف هو التحقق من جميع حالات المرض لدى سكان معينين، كالذين يعيشون، مثلا، في منطقة معينة خلال فترة معينة؛ ثم يجري، بالنسبة إلى كل حالة فردية، اختيار واحد أو أكثر من الأفراد المرجعيين غير المصابين بالمرض والمأخوذ من نفس مجموعة السكان الذين تتمثل فيهم الحالة الفردية. ويمكن عندئذ إجراء مقارنة بين الحالات الفردية والأفراد المرجعيين لمعرفة ما إذا كانت هناك اختلافات كبيرة في التعرض للإشعاع. وكما هي الحال بالنسبة إلى الدراسات الفوجية، لا بد من التزام الحيطة لتجنب آثار عوامل الالتباس. ويمكن أن يتم هذا إما عن طريق المقارنة بين الأفراد المرجعيين والحالات الفردية، وذلك من حيث عوامل كالسن والجنس، أو عن طريق استخدام تقنيات احصائية في التحليل.

٥٦ - وبما أنه ينبغي الاقتصار، في التحقيق، على الحالات الفردية والأفراد المرجعيين المقارنين، فإن الدراسات الفردية المقارنة يمكن أن تعطي نتائج هامة عندما تجرى على مجموعات دراسة أصغر من المجموعات اللازمة للدراسات الفوجية. ولذلك فإن الدراسات الفردية المقارنة تكون مفيدة حيث يستلزم جمع البيانات المتعلقة بحالات التعرض الفردية عملا ميدانيا مفصلا وشاملا، مما يجعل الدراسات الفوجية مستحيلة أو باهظة التكاليف. وللدراسات الفردية المقارنة فائدة كبيرة في تقصي ما للتعرض للرادون في المساكن من آثار تتصل بخطر الإصابة بسرطان الرئة. ومن المهم، في هذه الدراسة، أن تؤخذ في الاعتبار عادات التدخين التي يشيع أن تكون البيانات التطورية 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 تفسيرا وأكثرها عرضة للخطأ. ففي دراسة الترابط الجغرافي، تختار مجموعتان أو أكثر من الناس في مواقع مختلفة، ويستند في الاختيار إلى الفرق في طول مدة التعرض للإشعاع، الذي يكون عادة من مصادر طبيعية. ثم تقارن الاحصاءات الصحية الخاصة بالمجموعات لاستبانة أية اختلافات ذات صلة بالموضوع. وهذا الأسلوب يأخذ في الاعتبار الفرق في متوسط التعرض للإشعاع بين المجموعات، لكنه يتجاهل توزيع حالات التعرض ضمن 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 تعرضها للإشعاع كبيرا ومعروفا بدقة والفرق في عوامل الالتباس الخاصة بها صغيرا.

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 لقيدين رئيسيين: قيد إحصائي يسبب أخطاء عشوائية، وآخر ديموغرافي يسبب أخطاء مستمرة.

٥٩ - وفي بلدان عديدة، تصل نسبة احتمال الوفاة بالسرطان على مدى العمر كله إلى ٢٠ في المائة تقريبا. فإذا قورنت مجموعتان من السكان كي يحدد بثقة، أثر تعرض إحداهما لجرعة إشعاعية أعلى من الجرعة التي تتعرض لها الثانية، لزم أن يكون للفرق بينهما دلالة إحصائية. وبغية تحديد الزيادة في معدل الوفيات، من ٢٠ في المائة إلى ٢٢ في المائة مثلا، ينبغي ألا يقل عدد أفراد كل مجموعة من السكان عن ٥ ٠٠٠ فرد. فإذا توبعت المجموعتان إلى حين انقراضهما، سيلاحظ حدوث قرابة ١ ٠٠٠ وفاة بالسرطان في المجموعة غير المعرضة للإشعاع وقرابة ١ ١٠٠ وفاة في المجموعة المعرضة. وحدا الثقة بنسبة ٩٠ في المائة للفرق بينهما تقريبا صفر و ٢٠٠، وهذا أدنى ما له دلالة. ووفقا للتقديرات الحالية للخطورة، فإن هذه الزيادة تنتج عن تعرض الجسم كله، مدى الحياة، لجرعة تبلغ حوالي ٠ سيفيرت. وذلك يناظر زيادة بعامل مقداره في الجرعة النموذجية الناجمة عن مصادر طبيعية غير الرادون (٠,٠٠١ سيفيرت في السنة) والمستمرة طوال العمر البالغ ٧٠ سنة لدى المجموعة المعرضة (٠,٠٠١ سيفيرت في السنة x ٧٠ سنة x ٥).

٦٠ - والقيد الثاني ينتج عن الحاجة إلى مقارنة مجموعات الدراسة والمجموعات المرجعية لاستبانة عوامل الالتباس التي تؤثر في الإصابة بالسرطان. وما لم تؤخذ مجموعات الدراسة والمجموعات المرجعية من مجموعة سكانية واحدة متجانسة، يظل من النادر أن تتيسر مقارنة المجموعات، أو مراعاة الفروقات، بما يكفي من الدقة لكي يتبين، بثقة، حصول زيادة ضئيلة في معدل الوفيات الناجمة عن السرطان. وأي قصور في المقارنة بين المجموعات القياسية ومجموعات الدراسة يمكن أن ينطوي على تحيز لا يمكن تقليله بمجرد توسيع حجم المجموعات.

٦١ - واحتمال التحيز هذا هو الذي يقل كثيرا من قيمة دراسات الترابط الجغرافي للوفيات بالنسبة لفئات منفصلة جغرافيا كتلك التي تتناولها الدراسات المتعلقة بآثار التعرض لمستويات مختلفة من الإشعاع البيئي الطبيعي. وهذا يؤكد أهمية الدراسات الفوجية التي يمكن فيها تقسيم فئة واحدة 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 جغرافيا. أما المجموعات السكانية التي يمكن تقسيمها وفقا للتعرض 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 الذي يتراجع 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 ولا 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 بالإمكان مراعاة البيانات الإضافية المتوفرة الآن وإعادة تقييم الاستنتاجات السابقة. وقد أجريت دراسة هامة لمختلف طرائق تفسير البيانات. وأجريت، بشكل خاص، دراسة استقصائية للنماذج المتاحة عن إجراء توقعات المخاطر 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 الاحصائية التي تثيري التقديرات الكمية للمخاطر. والدراسات الوبائية لا توفر بيانات هامة عن أخطار الإشعاع عندما تكون الجرعات منخفضة. ولا بد من إثبات صحة الاستقراء الخاص بالجرعات المنخفضة عن طريق دراسات بيولوجية اختبارية. ولذلك فإن اللجنة ربطت الدراسات الوبائية باستعراض شامل لمسببات السرطان البشري ولآثار الجرعات ومعدلها على الاستجابات الإشعاعية. وقد أكدت النتيجة الإجمالية تقديرات المخاطر التي تضمنها تقرير اللجنة لعام ١٩٨٨.

٦٤ - ولقد أنجز الكثير، في جميع أنحاء العالم، بشأن الدراسات الوبائية، غير أن تراكم المعلومات الكمية بطيء بحكم الضرورة. ومن الأمثلة على ذلك أن أكثر من نصف أفراد مجموعة الدراسة الموجودة في هيروشيما وناغازاكي لا يزالون على قيد الحياة، والزيادة التي لوحظت في الوفيات بالسرطان، وقد قاربت حتى الآن ٣٥٠، ترتفع ببطء. وقد ركزت اللجنة وقتها ومواردها على مناقشات علمية شاملة لآثار الدراسات المتوفرة، ولم تعد مرفقا بشأن الأمراض الوبائية لنشره في الوقت الحاضر. وترد استنتاجات اللجنة بإيجاز في الفرع "ثالثاً"، 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 بتكوينات متقلبة لنواة الذرة. فهي تنحل في تحولات نووية تلقائية، مبتعثة اشعاعاً. ويوصف معدل الانحلال المميز لكل نويدة مشعة بنصف عمرها، وهو الوقت الذي يفترض أن تحصل خلاله التحولات التلقائية في نصف الذرات. ويعرف المعدل الذي تحدث به التحولات في كمية نويدة مشعة بتعبير النشاط، وتسمى وحدة هذا النشاط "بكريل". فإذا كان لكمية نويدة مشعة نشاط قدره بكريل واحد، حدثت التحولات بمعدل 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 هي الجول 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 مختلفة من الإشعاع فعالية بيولوجية مختلفة، كما أن لأعضاء الجسم وأنسجته حساسيات مختلفة.

٦٨ - وفيما يتعلق بالجرعات الممتصة المتساوية فإن الإشعاعات الكثيفة التأيين، التي منها جسيمات ألفا، تكون أكثر فعالية في إحداث الآثار البيولوجية، ولا سيما الآثار العشوائية، من الإشعاعات الخفيفة التأين التي منها أشعة جاما أو الأشعة السينية أو الالكترونات (جسيمات بيتا). ومن المفيد الجمع بين الجرعات الممتصة المتأتية من أنواع مختلفة من الإشعاع بغية توفير كمية أخرى تعرف باسم "الجرعة المكافئة". والجرعة المكافئة في نسيج أو عضو بشري هي الجرعة الممتصة مرجحة بعامل ترجيح إشعاعي يتراوح بين الوحدة للإشعاعات الخفيفة التأيين 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، بعامل ترجيح نسيجي، ويطلق على مجموع هذه المنتجات في الجسم كله اسم "الجرعة الفعالة". والجرعة الفعالة هي مؤشر للضرر الإجمالي الناجم عن الآثار العشوائية واللاحق بالفرد المعرض للإشعاع وبسالته. وبما أن عامل الترجيح الإشعاعي وعامل الترجيح النسيجي هما كميتان ليس لهما تمييز، فإن تمييز الجرعة المكافئة وتمييز الجرعة الفعالة هو نفس تمييز الجرعة الممتصة، والتمييز لهما نفس الوحدات، أي الجول لكل كيلوغرام. بيد أنه، لضمان التمييز الواضح بين الجرعة الممتصة ونظائرها المرجحة، اتفق على تسمية وحدة الجرعة المكافئة ووحدة الجرعة الفعالة باسم خاص هو "سيفيرت".

٧٠ - والتغييرات التي أدخلت على عملي الترجيح الإشعاعي والترجيح النسيجي، في عام ١٩٩٠، تؤدي إلى تعقيد المقارنات بين التقديرات الجديدة والسابقة للجرعة. وبصفة عامة، لم تحاول اللجنة أن تعيد تقييم البيانات القديمة من زاوية الكميات الجديدة، لأن التغييرات صغيرة في العادة. وقد أشير في النص إلى حيث أجريت إعادة التقييم.

٧١ - والجرعة الممتصة والجرعة المكافئة والجرعة الفعالة تنطبق، جميعها، على الأفراد أو الأفراد العاديين. واللجنة تستخدم كذلك الجرعة الفعالة الجماعية، وهي الجرعة المتوسطة التي تتعرض لها فئة سكانية أو مجموعة، مضروبة في عدد أفراد المجموعة. وتحدد هذه الكمية بالنسبة إلى مصدر معين أو وحدة ممارسة معينة. وقد تشير هذه الكمية إلى مجموع الجرعات التي ستنبعث مستقبلاً من المصدر أو وحدة الممارسة، كما هو الحال، مثلاً، بالنسبة للجرعة الفعالة الجماعية الناتجة عن انفجارات نووية جوية أو عن التعرض الطبي خلال سنة واحدة. فإذا كان احتمال حدوث آثار لاحقة متناسبا مع الجرعة الفعالة موزعة على جرعات منخفضة، وهو الأمر الممكن حصوله، كانت الجرعة الفعالة الجماعية مؤشراً للضرر الإجمالي الممكن عزوه إلى تلك الجرعات والمتوقع حدوثه في تلك المجموعة والمنحدرين منها. وإذا كانت الجرعات الفردية التي تشكل جرعة جماعية تشمل مجموعة واسعة 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 المتجمعة من المصدر أو وحدة الممارسة المعنيين. وبغية إعطاء مؤشر للجرعة المتجمعة لدى فرد نموذجي، ولكنه افتراضي، الآن وفي المستقبل، تستخدم اللجنة التجمع الكمي للجرعات، وهذا التجمع هو تكامل متوسط معدل الجرعة الفردية التي تنجم عن الحدث والتي يتعرض لها سكان معينون، كثيراً ما يكونون سكان العالم، على مدى فترة زمنية لا نهاية لها (أو فترة معينة). والجرعة المشار إليها تكاد تكون دائماً هي الجرعة الفعالة. وقد كان تجمع الجرعات مفيداً جداً في تقدير العواقب الطويلة الأجل للأحداث التي تقع ضمن فترة محدودة، مثل الفترة التي تستغرقها سلسلة تفجيرات نووية جوية. ووحدة التجمع من الجرعة الفعالة هي السيفيرت.

٢ - الخطورة والضرر

٧٣ - احتاجت اللجنة كذلك إلى اعتماد طريقة متناسقة لكي تصف كمياً احتمال، وشدة، الآثار العشوائية للتعرض للإشعاع. وقد استخدم تعبير الخطورة على نطاق واسع في هذا الإطار، ولكن دون تناسق كاف. وهذا التعبير يستخدم أحياناً ليعني احتمال تحقق نتيجة غير مرغوب فيها، ولكنه يعني، في أحيان أخرى، احتمال تحقق النتيجة وشدتها معاً. ولهذا السبب، حاولت اللجنة تبادلي استخدام تعبير الخطورة إلا في صيغ ثابتة مثل "الخطورة النسبية الزائدة" و "نموذج اسقاط الخطورة المضاعف".

٧٤ - ومن المفاهيم الهامة لدى اللجنة احتمال الإصابة بالسرطان القاتل الناتج عن زيادة التعرض للإشعاع. ويختلف الاحتمال، محسوبا على سنة، باختلاف الوقت الذي ينقضي بعد التعرض للإشعاع، وأكثر التعابير التلخيصية فائدة هو الاحتمال، المحسوب على مدى العمر بكامله، للوفاة قبل الأوان 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 يخفض 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 المعزوم. 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 المعزوم 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 معزومة إلى السرطان. ويشكل الجمع بين هذه الفترة والاحتمال المعزوم، على مدى العمر، طريقة لقياس متوسط الخسارة في العمر المتوقع. ويمكن استخدام جميع هذه الكميات لتقدير عواقب التعرض لمرة واحدة، أو تعرض مستمر، ينتج عنه تلقي جرعة معروفة. أما إذا 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 بجرعة محددة تكون عادة من 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 من الجسم بسرطان قاتل، والضرر الإضافي الناجم عن السرطان غير القاتل والاختلالات الوراثية، والفترات المختلفة التي تكون فيها مختلف أنواع السرطان كامنة. وهذه السمات جميعها مشمولة باختيار عوامل الترجيح المتعلقة بتحويل الجرعة المكافئة إلى جرعة فعالة.

٧٨ - وعلى هذا فإن قيمة المعامل الذي يربط بين احتمال الإصابة بسرطان قاتل والجرعة المكافئة تتوقف على توزيع السكان المعرضين للإشعاع، وأية فئات عرقية مختلفة، حسب السن والجنس. ومع ذلك وجدت اللجنة أنه يكفي، لمعظم أغراضها، استخدام القيم الإسمية التي تعتمدها اللجنة الدولية المعنية بالحماية من الإشعاع على اعتبار أن هذه القيم هي، بالضرورة قيم تقريبية، وخاصة في حالة تعرض المرضى الطبي.

باء - الآثار التي تصيب الإنسان

٧٩ - إن آثار الإشعاع المبينة في الفرع ألف من الفصل "ثانياً" يمكن أن تصنف كآثار قطعية أو عشوائية من جهة، وجسدية أو وراثية من جهة أخرى. وجميع الآثار القطعية هي آثار جسدية، أي أنها تصيب الفرد المعرض للإشعاع، بينما الآثار العشوائية 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، توفي من جراء تلك الأشعة 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 أن هناك عوامل مسببة للسرطان، عبر عن تلك العوامل بكميات وذلك بالنسبة لعدة مجموعات سكانية معرضة. ويبدو أن التسبب في الإصابة بالسرطان يمثل التأثير الجسدي العشوائي 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 حياة الإنسان. ويعود السبب في انعدام الأدلة الوبائية إلى طول الوقت الفاصل بين الأجيال وإلى كبر عدد الأشخاص اللازمين 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 ٥ر٠ غراي، بينما يبلغ معدل الجرعة الحدية، في حالات التعرض الطويل الأجل، حوالي ٤ر٠ غراي في السنة. أما القيمتان المقابلتان الخاصتان بالعقم الدائم فتتراوح أولاهما بين ٣ر٥ غراي و ٦ غراي (حالات التعرض الحادة)، وتبلغ القيمة الثانية ٢ غراي في السنة (حالات التعرض المزمّن). ويتراوح معدل الجرعة الحدية المسببة للعقم الدائم لدى النساء بين ٢ر٥ 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 ٢ر٠ غراي في السنة. وتنطبق هذه الحدود، مثلها مثل جميع حدود الآثار القطعية، على الأشخاص الذين هم في حالة صحية عادية. أما بالنسبة إلى الأفراد الذين يوشك أن يظهر عندهم الأثر لأسباب أخرى فإن الحد يقل عن ذلك. وحتى في الحالة القصوى التي يكون الأثر فيها موجوداً، يظل هناك حد يمثل جرعة الإشعاع اللازمة لإحداث تغيير ملحوظ في حالة الفرد.

٨٣ - وحد عتسات العدسات العين الكافي لأن يحدث، بشيء من البطء، خلاا بصريا، يتراوح بين ٢ غراي و ١٠ غراي في الاشعاعات الخفيفة التأيين (ومن ١ غراي إلى ٢ غراي تقريبا في الإشعاعات الكثيفة التأيين)، وذلك في حالات التعرض الحاد. ولا يعرف معدل الجرعة الحديدية جيدا بالنسبة الى حالات التعرض المزمّن الطويل الأجل، ولكن من المحتمل أن يتجاوز ذلك المعدل ٥ر٠ غراي في السنة في الإشعاعات الخفيفة التأيين.

٨٤ - وفيما يتعلق بحالات تعرض نخاع العظام بكامله للإشعاع الحاد، تبلغ الجرعة الحديدية لتباطؤ تكون الدم، على نحو يعتبر شديدا من وجهة نظر الطب الاكلينيكي، حوالي ٥ر٠ غراي. أما معدل الجرعة الحديدية المقابلة في حالة التعرض الطويل الأجل فتزيد إلى حد ما على ٥ر٠ غراي في السنة. وبشكل قصور نخاع العظام مكونا هاما من مكونات أعراض الإشعاع 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 علاجاً طبيا محددًا.

٨٥ - وفي حالات تعرض الجلد للإشعاع، يتراوح حد الحمى والتقرش الجاف بين ٣ غراي و ٥ غراي، وتظهر الأعراض بعد التعرض بثلاثة أسابيع. ويحدث التقرش 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 الآخذ في النمو

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 كانت رؤوس الأشخاص صغيرة الحجم دون وجود تخلف عقلي ظاهر. وبالإضافة إلى ذلك، فإن مستويات الذكاء لبعض فئات من تعرضوا للإشعاع وهم في الرحم كانت أقل من المتوسط، وكان أداؤها في المدرسة سيئا.

٨٧ - وقد لوحظ 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 بعد الحمل بثمانية أسابيع فقد استدل على وجود فترة حساسية تتراوح بين ٨ اسابيع و ١٥ أسبوعا وأعتبتها فترة أقل كثيرا في حساسيتها تراوحت بين ٦ أسابيع و ٢٥ أسبوعا بعد بدء الحمل.

٨٨ - ووفقا لما جرى بحثه في الفرع ألف، ٢ (أ) من الفصل "ثانيا" فإنه يعتقد أن آلية استحداث 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) لتوزع حاصل الذكاء الذي تقدر قيمته بحوالي ٣٠ نقطة لكل سيفيرت بالنسبة إلى حالات التعرض التي تتراوح بين ٨ أسابيع و ١٥ أسبوعا.

٨٩ - ولتوزعات حاصل الذكاء العادي قيمة متوسطة يفترض أنها تبلغ ١٠٠ نقطة وانحراف قياسي يقارب ١٥ نقطة. أما المنطقة الواقعة إلى يسار انحرافين قياسيين عن المتوسط، أي القيم التي يقل فيها حاصل الذكاء عن ٧٠ نقطة، فإنها تناظر التسمية السريرية 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 تحول تستحثه جرعة صغيرة سيقبل كثيرا عن الجزء الذي يحسب مباشرة انطلاقا من وجود علاقة خطية بنسبة ٤٠ في المائة لكل سيفيرت (أقل بحوالي رتبة مقدار واحدة). أما الجرعة التي تلزم لكي يحدث في حاصل 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 حاصل 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 في سن البلوغ. ومن الأمثلة على التلف القطعي الناجم عن التعرض للإشعاع في سن الطفولة، ما يلي: الآثار التي تصيب النمو والتطور، واختلاف وظائف الأعضاء، ونقص الهرمونات وما يترتب عليه، والآثار التي تصيب الوظائف الإدراكية. ويأتي معظم المعلومات من المرضى الذين تلقوا معالجة بالأشعة، ويستخرج 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 المستبطن وطريقة المعالجة، التي كثيرا ما تشتمل على الجراحة والمعالجة الكيميائية بالإضافة إلى المعالجة بالأشعة. ولهذه الأسباب لا تزال ثمة شكوك قوية تحوم حول تقديرات الجرعات الحدية لدى الأطفال الأصحاء. ولا يمكن أن تتوفر عن مستويات هذه الجرعات إلا توضيحات عامة. وما لم يذكر خلاف ذلك، تكون الجرعات ناتجة عن تعرض مجزأ.

٩٣ - وآثار الإشعاع على الخصية والمبيض تتوقف على السن والجرعة. فوظيفة الخصية يمكن أن تتعرض للخطر بجرعات قدرها ٠.٥ غراي. وبلوغ 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 ٣ غراي. ويحدث العقم في حوالي ٣٠ 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. ويقابل ذلك أنه 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. ومعالجة الغدة الدرقية بجرعات تقارب غراي واحدا طوال أسبوعين أدت إلى قصور درقي لدى مرضى يعالجون بالأشعة في الجمجمة. ولوحظ حصول اعتام في عدسة العين وخلل في نمو الثديين نتيجة لجرعة قدرها ٢ غراي.

٩٥ - وجرى تحديد الآثار القطعية في عدة أعضاء أخرى والتعبير كميًا عن تلك الآثار. فقد تبين أن السعة الإجمالية للرئة تتقلص 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 يحدق تلف في الكبد، كما أن التعرض خلال فترة من الزمن لجرعات تقارب ١٢ غراي يكفي 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 أية آثار في الجرعات التي تقل عن ١٠ غراي. ويلاحظ حدوث تلف في عضلة القلب، بما يؤدي إلى قصور من الناحية الإكلينيكية، بعد التعرض لجرعة قدرها حوالي ٤٠ غراي.

٢ - السرطان المستحث بالإشعاع

٩٦ - يمكن، بالاستناد إلى المعلومات الإحصائية الإشعاعية 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 استقرار البيانات حتى بلوغ منطقة الجرعة المنخفضة، حيث تنعدم البيانات الوبائية أو تكون مفترقة، إلى حد كبير، للدقة.

٩٧ - وبما أنه يندر أن تستمر مدى الحياة مراقبة عينة سكانية معرضة للإشعاع فإنه من الضروري، في العادة، إسقاط تواتر استحثاث السرطان الملاحظ خلال فترة المعاينة على مدى حياة السكان المعرضين، وذلك بغية تحديد خطورة التعرض مدى الحياة. وقد استخدم لهذا الغرض نموذجان رئيسيان أحدهما هو نموذج الإسقاط المطلق والجمعي، والآخر هو نموذج الإسقاط النسبي أو المضاعف.

٩٨ - والنموذج المطلق (الجمعي) البسيط يفترض حصول زيادة ثابتة (متصلة بالجرعة) للسرطان المستحث، تمتد لفترة العمر ولا صلة لها بمعدل الإصابة بالسرطان التلقائي المعتمد على السن. والنموذج النسبي (المضاعف) 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 المعايينات الوبائية، ويبدو أن المعلومات الإحصائية الإشعاعية تقدم عليه النموذج المضاعف. 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 بشأن أنواع السرطان الجامد. فالنموذج الأول هو النموذج البسيط الذي يستخدم عاملا ثابتا للخطورة الزائدة. ويستخدم النموذجان الثاني والثالث عاملا متناقصا للفترات الزمنية التي تزيد على ٤٥ عاما بعد التعرض. ومع أن أخطار سرطان الدم لم تقدر تماما بعد لدى اليابانيين الباقين على قيد الحياة فإن الخطر المتخلف هو الآن من الضالة بحث لم يعد يلزم استخدام نماذج إسقاط مختلفة.

١٠١ - والنموذجان اللذان يستخدمان عوامل متناقصة للخطورة نسبية يقللان تقديرات الخطورة على مدى الحياة بعد التعرض لمرة واحدة كما يلي: بعامل قدره حوالي ٢ للتعرض في العقد الأول من الحياة، وبعامل قدره ١,٥ للتعرض في العقد الثاني؛ وبأثر ضئيل في الأعمار التي تكون أكبر من ذلك وقت التعرض. والاحتمال 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 أخطار الإصابة 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 المكونة الخطية للدالة الخطية التربيعية. واستنادا إلى المعلومات الإحصائية - الإشعاعية الأساسية والدراسات الحيوانية والبيانات المتصلة باستحداث السرطان في الإنسان، يقدر الآن، والتقدير مشكوك فيه كثيرا، أن هذا العامل هو حوالي ٢ 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 (الخطورة لكل وحدة جرعة) في حالات الجرعات المرتفعة ومعدلات الجرعات المرتفعة التي تتعرض لها الأنسجة المختلفة. ولأغراض هذا التقرير، يكفي بحث الخطورة الإجمالية للوفاة بالسرطان عندما يكون الجسم كله معرضا للإشعاع.

١٠٤ - وفي السنوات الأخيرة، جرى الإبلاغ عن دراسات وبائية تناولت أشخاصا معرضين للإشعاع بحكم مهنتهم، ومجموعات سكانية موجودة في مناطق معرضة لمستويات مختلفة من الإشعاعات البيئية، وأشخاصا معرضين للإشعاع نتيجة انطلاق مواد مشعة في بيئتهم. ولكي تستخلص من الدراسات معلومات كمية كافية عن عواقب التعرض للإشعاع، ينبغي أن تكون تلك الدراسات كبيرة الحجم وشاملة لفترات طويلة، غير أن ما يحدث، في الواقع هو أن الدراسات المتعلقة بسرطان الرئة المتصل بالرادون، الذي يصيب عمال التعدين، هي وحدها التي تبين علاقات كمية، هي علاقات مرتبطة 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 التي تنتهي إليها الدراسات المتعلقة بالجرعات المرتفعة وبمعدلات 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 أخطار السرطان المرتبطة بجرعات مرتفعة من الإشعاعات الخفيفة التأيين تناهز ثلاثة أضعاف ما قُدّرت 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 2×10^{-10} 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.

١٠٧ - وقد بحثت اللجنة العامل الذي ينبغي استعماله لتخفيض تقديرات الخطورة المستخلصة من الدراسات المتعلقة بالجرعات المرتفعة عندما يستعان بتلك التقديرات لاستخلاص 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. وإذا استخدم عامل مقداره ٢، ظهرت قيمة مقدارها 2×10^{-10} لكل سيفيرت فيما يتعلق باحتمال الإصابة على مدى العمر بأنواع السرطان القاتلة الناجمة عن تعرض مجموعة سكانية محددة، من جميع الأعمار، للإشعاع. كذلك ستظهر قيمة متوسطة أصغر، تقارب 2×10^{-10} لكل سيفيرت، بالنسبة إلى السكان العاملين (المتراوحة أعمارهم بين ١٨ سنة و ٦٤ سنة) الذي يتعرضون للإشعاع أثناء حياتهم العملية. وتقترح 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 - إن علم الأوبئة لم يكتشف، بدرجة من الثقة لها دلالة إحصائية، الآثار الوراثية للإشعاع الذي يصيب البشر. وتقدير الخطورة المستند إلى دراسة الحيوانات هو من الضالة بحيث أنه لو وجد أثر له دلالة إحصائية في نقاط الانتهاء التي درست في هيروشيما وناغازاكي لكان ذلك أمرا مثيرا للدهشة. ومع ذلك فإنه لا يمكن الشك 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، الاستنتاجات السلبية المستخلصة من الدراسات التي تجرى على البشر.

١٠٩ - وقد استخدمت اللجنة في تقدير الخطورة الوراثية 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 مقدارها 2×10^{-10} لكل سيفيرت بعد التعرض للإشعاع أو بالتعبير عن الخطورة نفسها بطريقة أخرى، 2×10^{-10} لكل جيل على أساس حصول تعرض مستمر للإشعاع قدره سيفيرت واحد لكل جيل. وقدر أن الخطورة المقابلة بالنسبة لأول جيلين يليان التعرض للإشعاع هي 3×10^{-10} لكل سيفيرت لدى شريحة السكان القادرة على التناسل.

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

١١١ - وثمة عدد كبير من الأمراض والاختلافات التي ترجع إلى أسباب معقدة ومتعددة العوامل. وبالإضافة إلى هذا فإن الأمراض الوراثية 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 المتعلقة بجميع الآليات التي يمكن أن تتسبب في إصابة ذرية الأفراد المعرضين للإشعاع بالأمراض.

رابعاً - 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 الجيولوجيا المحلية. أما الجرعات المتأتية من غاز الرادون الذي ينفذ من سطح الأرض إلى المساكن فإنها تتوقف على الجيولوجيا المحلية وعلى بنية المساكن وتهويتها. والتعرضات الناجمة عن الأشعة الكونية وعن أشعة جاما الأرضية وعن الابتلاع لا تتغير مع مرور الزمن إلا قليلاً، ولذا فإنه يمكن النظر إليها باعتبارها تشكل التعرض البيئي الأساسي المتأتي من المصادر الطبيعية.

١١٣ - ومصادر الإشعاع التي هي من صنع الإنسان تشمل معدات الأشعة السينية، ومسارعات الجسيمات النووية، والمفاعلات النووية المستخدمة في توليد الطاقة النووية والبحوث وفي إنتاج النويدات المشعة التي تستخدم بعدئذ في الطب والبحوث والعمليات الصناعية. والتجارب التي أجريت فيما مضى، في الجو، على الأجهزة النووية، لا تزال تمثل مصدراً 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، أحداثاً متميزة أو سلاسل متميزة من الأحداث. والمصادر التي تطلق المواد المشعة إلى البيئة تبث جرعاتها خلال فترات هي من الطول بحيث أن الجرعات السنوية الناجمة عنها لا توفر مقياساً كافياً 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 بيان توفيقى يسمح بالنظر إلى جميع المصادر على أساس مشترك، مع ترك البيان الأكثر انتقائية جانباً بغية تناوله في تفاصيل التعرض المتأتي من كل نوع من أنواع المصادر. ومن طرائق ذلك بيان متوسط الجرعة السنوية التي نتجت عن مختلف المصادر حتى الوقت الراهن. وهذا النوع من البيانات يوضح الأهمية التاريخية للمصادر حتى الآن، لكنه لا يشير إلى أية جرعة صدرت بالفعل وستظهر مستقبلاً. وقد تفادت اللجنة جزءاً من هذه الصعوبة باستخدام مفهوم إصدار

الجرعات، الذي يراعي الجرعات التي سيطلقها المصدر في المستقبل. غير أنه لا إصدار الجرعات حتى الوقت الراهن، ولا الجرعة الجماعية التي أصدرت حتى الوقت الراهن، يوفر بيانا وافيا 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 المصدرة 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 الفعالة السنوية المتأتية من المصادر الطبيعية هو ٢,٤ مليسيفيرت، منها ١,١ مليسيفيرت ناجمة عن الإشعاع الكوني يتوقف 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 جاما الأرضية يتوقف على الجيولوجيا المحلية، حيث يبلغ المعدل العالي، في العادة، ١٠ أضعاف المتوسط. ويمكن أن تصل الجرعة التي تتعرض لها بضعة مجتمعات محلية تعيش قرب بعض أنواع الرمال المعدنية إلى حوالي ١٠٠ من مثل المتوسط. والجرعة المتأتية من نواتج اضمحلال الرادون تتوقف على الجيولوجيا المحلية وعلى بنية المساكن وطريقة استخدامها، حيث تصل الجرعة في بعض المناطق إلى حوالي ١٠ أمثال المتوسط. ويمكن أن تجتمع الجيولوجيا المحلية مع نوع بعض المساكن وطريقة تهويتها لكي تعطي، من نواتج اضمحلال الرادون، معدلات جرعة تصل إلى عدة مئات من مثل المتوسط.

١١٩ - والجدول ١ يبين المتوسط النمطي للجرعات الفعالة 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 مليسيفيرت في تقرير اللجنة لعام ١٩٨٢، و ٢,٤ مليسيفيرت في تقريرها لعام ١٩٨٨، و ٢,٤ مليسيفيرت في الجدول ١.

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

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

الجرعة الفعّالة السنوية (بالمليسيفيرت)		مصدر التعرض
المالية*	المعتادة	
٢,٠	٠,٣٩	الأشعة الكونية
٤,٣	٠,٤٦	أشعة جاما الأرضية
٠,٦	٠,٢٣	النويدات المشعة الموجودة في الجسم (باستثناء الرادون)
١٠	١,٣	الرادون ونواتج اضمحلاله
-	٢,٤	المجموع (مقرب)

* 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 للتشخيص 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. غير أن توفير خدمات الأشعة الطبية يتفاوت تفاوتاً شديداً بين مختلف أنحاء العالم، لأن غالبية هذه الإجراءات تتبع في البلدان الصناعية التي لا تضم سوى ربع سكان العالم.

١٢٢ - واستنادا إلى وجود ارتباط بين أعداد أجهزة، وفحوص، الأشعة السينية الطبية وعدد الأطباء في البلدان، أجرت اللجنة تقييما لحالات التعرض الإشعاعية الطبية لأربع من مستويات الرعاية الطبية في العالم، ابتداء من المستوى الأول في البلدان الصناعية وانتهاء بالمستوى الرابع في أقل البلدان نموا. وهذا التصنيف الواسع مفيد، ولكنه يخفي أحيانا 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. ويشير التقدير الخاص لعام ١٩٩٠ إلى أن عدد السكان كان يبلغ 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 تكرار 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. وعدد الفحوص يتناسب، 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 نطاقها واسع 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 "الثالث"، 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 يخفض 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. فمن شأن ازدياد الجرعة الجماعية أن يشير، في كثير من البلدان، 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 إلى أن تكون الجرعة التي يتعرض لها كل مريض نتيجة لغالبية أنواع الفحوص منخفضة، والاستثناء الملحوظ هو في تصوير الأورام باستخدام الحاسوب، الذي تتجه فيه الجرعات إلى الازدياد. وفي البلدان التي تتوافر عنها بيانات، تتراوح معظم قيم الجرعات الفعالة التي يتعرض لها كل مريض بين ٠,٥ مليسيفيرت و ٢,٠ مليسيفيرت. أما فيما يتعلق بالفحوص الفردية، فيمكن أن تقع القيم خارج هذا النطاق لأنها تقل عندما يتعلق الأمر بفحوص الأطراف والجمجمة، وتزيد عندما يتعلق الأمر بفحوص القناة 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 مدى يمتد من ٠,٣ مليسيفيرت إلى ٢,٢ مليسيفيرت. وليس من السهل إعداد تقديرات موثوقة بالنسبة إلى البلدان ذات المستويات الأدنى من الرعاية الصحية. غير أنه يبدو، بالنسبة لبلدان المستويين الثاني والثالث، أن المدى يمتد من نحو ٠,٢ مليسيفيرت إلى ٠,٢ مليسيفيرت. والمتوسط المرجح، حسب عدد السكان، هو ١,٠ مليسيفيرت لبلدان المستوى الأول، أي نفس المستوى الذي أفيد عنه في عام ١٩٨٨. أما المتوسط العالمي فهو ٠,٣ مليسيفيرت. 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 الثاني والثالث والرابع. وقد حدثت تغيرات هامة في التقنيات المستخدمة في هذا الميدان، فاستعمال النويدات الطويلة العمر يحدث لكل فحص، في البلدان النامية، جرعة أعلى مما هي عليه الحال في البلدان التي تتوافر فيها بدائل أقصر عمرا. وعلى وجه الخصوص فإن استعمال الأيودين - ١٣١ قد انخفض انخفاضا حادا، وإن كان لا يزال يسهم إسهاما كبيرا في الجرعة الجماعية في البلدان الصناعية. ولا تزال الجرعة الفعالة السنوية الفردية 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 الفعّالة السنوية الفردية المتأتية من الطب النووي التشخيصي ٠,٠٣ ملي سيفيرت.

١٣١ - وتبلغ الجرعة الفعّالة السنوية المقدرة للفرد، والناجمة عن جميع الاستعمالات التشخيصية للإشعاع، ١,١ ملي سيفيرت في بلدان مستوى الرعاية الصحية الأول؛ ويقارب متوسطها ٠,٣ ملي سيفيرت في العالم بأسره. وعلى نطاق العالم كله، تبلغ الجرعة الفعّالة الجماعية السنوية الناجمة عن التعرضات الطبية التشخيصية نحو ١,٨ x ١٠^٦ رجل سيفيرت، وهو أكبر تعرض متأت من المصادر التي يحدثها الإنسان أو تحدثها الممارسات، ويعادل نحو سُبْع الجرعة الجماعية السنوية التي يتعرض لها سكان العالم من مصادر الإشعاع الطبيعية.

١٣٢ - والمرضى الخاضعون للعلاج الإشعاعي يتعرضون لجرعة أكبر كثيرا من الجرعة التي يتعرض لها الخاضعون للتشخيص، ولكن عدد الأول أقل. وثمة صعوبات في تحديد كمية ملائمة تبين الجرعة التي يتعرض لها الجسم خارج العضو المستهدف. وقد استعملت اللجنة كمية مماثلة للجرعة الفعّالة، ولكن مع تجاهل الجرعة التي تتعرض لها الخلايا المستهدفة. ويمكن، لمعظم الأغراض العملية، أن ينظر إلى هذه الكمية باعتبارها مساوية للجرعة الفعّالة.

١٣٣ - وبهذا التبسيط، تبلغ الجرعة الفعّالة الجماعية الكلية السنوية، على نطاق العالم بأسره والمتأتية من العلاج، نحو ١,٥ x ١٠^٦ رجل سيفيرت أي، تقريبا، نفس مقدار الجرعة المتأتية 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. وبذلك تنخفض الفترة الزمنية التي تظهر فيها 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 المتأتية 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 المغناطيسي والموجات فوق الصوتية. وستظهر فوارق ضخمة في الاتجاهات بين البلدان ذات المستويات المختلفة من الرعاية الصحية.

٣ - التعرضات المتأتية من التفجيرات النووية ومن انتاج الأسلحة النووية

١٣٥ - خلال الفترة الممتدة بين عامي ١٩٤٥ و ١٩٨٠، أجريت، في عدة مواقع، تفجيرات نووية جوية، وكان معظمها في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وكانت أنشط فترات التجارب هي الفترة ١٩٥٨-١٩٥٢ 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، تُجرى في جوف الأرض. وقد تسربت بعض المنتجات الغازية الانشطارية، عن غير قصد، أثناء عدد قليل من التجارب الجوفية؛ ولكن البيانات المتوافرة لا تكفي لتقدير الجرعة التي تجمعت من ذلك. ويقدر أن الحصيلة الانفجارية الكلية للتجارب الجوفية كانت ٩٠ ميغاطنا، وهذا يقل كثيرا عن حصيلة التجارب الجوية السابقة. وإضافة إلى ذلك فإنه على الرغم من أن الحطام الجوفي يظل مصدرا ممكنا للتعرض البشري، وخصوصا على الصعيد المحلي، فإن معظمه سيتم احتواؤه. ولذلك لا تزال التجارب الجوية السابقة هي المصدر الرئيسي للتعرض العالمي الناجم عن تجارب الأسلحة.

١٣٧ - والجرعة الفعّالة الجماعية الكلية التي تجمعت من الأسلحة حتى الآن تبلغ نحو ٣×١٠ رجل سيفيرت، منها نحو ٧×١٠ رجل سيفيرت ستكون قد تجمعت بحلول عام ٢٢٠٠. أما البقية، الناجمة عن الكربون-١٤ الطويل العمر، فستتجمع خلال فترة ١٠ ٠٠٠ سنة التالية أو نحوها. وثمة طريقة أخرى للتعبير عن هذه الاستنتاجات، وهي استعمال التكامل الزمني لمتوسط معدل الجرعات لسكان العالم، أي تجمع الجرعات. فالجرعات التي ستتجمع من التجارب الجوية حتى عام ٢٢٠٠ تقارب $١,٤$ رجل سيفيرت؛ وسيلبلغ مجموعها الكلي $٣,٧$ رجل سيفيرت. وهذان الرقمان، كلاهما، يساويان حجم الجرعة الفعّالة التي تنجم عن التعرض طوال سنة واحدة للمصادر الطبيعية. وجزء الجرعات الذي سيكون قد أطلق حتى عام ٢٢٠٠ (٢٨ في المائة) ليس هو نفس جزء الجرعة الجماعية المناظرة (٢٢ في المائة)، لأنه يتوقع أن يزيد عدد سكان العالم من $٣,٢$ بلايين نسمة، وقت تنفيذ البرامج الرئيسية للتجارب، ليصل إلى رقم ثابت هو ١٠ بلايين نسمة خلال معظم فترة الـ ١٠ ٠٠٠ سنة.

١٣٨ - وهذه التقديرات العالمية تشتمل على نصيب من الجرعات يصيب الناس القريبين من المواقع المستخدمة للتجارب الجوية. ومع أن هذا النصيب 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، تبلغ ١ غراي. وبين عامي ١٩٤٩ و ١٩٦٢، انطلقت، في المستوطنات المجاورة لموقع تجارب سيميبلاتينسك في الاتحاد السوفياتي السابق، جرعات مماثلة لتلك الجرعات ولكنها أكبر قليلا. وكانت بعض الجرعات التي انطلقت قرب موقع المحيط الهادئ للتجارب، في الولايات المتحدة،

عالية أيضا، وذلك لأسباب أهمها أن الرياح غيّرت اتجاهها بعد إحدى التجارب النووية الحرارية. كذلك فإن تلوث سطح الأرض بالقرب من مارالينغا، استراليا، حيث تجري التجارب النووية البريطانية، كان كافيا للحد من إمكانية دخول المنطقة لاحقا. وثمة منطقتان يمكن فيهما أن يسبب الاستخدام المتواصل وغير المقيد للمواقع، دون إزالة التلوث، جرعات فعّالة سنوية تبلغ عدة مليسيفيرتات، وبقيم تصل إلى ٥٠٠ مليسيفيرت، في محاذة مواقع التجارب مباشرة. وقد بلغت الجرعة الفعّالة 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 أيضا، مصدر للتعرض. وهذه العمليات تبدأ بتعدين اليورانيوم وطحنه. ثم يثرى اليورانيوم، إما بدرجة عالية من أجل مكونات الأسلحة، وإما بمقدار طفيف من أجل استخدامه في المفاعلات التي تنتج البلوتونيوم والترينيوم. ونطاق هذه الأنشطة لا يعلن للجمهور، ولا بد من تقديره بطريقة غير مباشرة. وبعد ذلك تقدر تجمعات الجرعات الناجمة باستخدام ما يفرض إليه إنتاج الطاقة النووية من معاملات إطلاق محسوبة على أساس الوحدة، وهي معاملات يسهل الحصول على مزيد من البيانات عنها. وتقدر الجرعة الفعّالة الجماعية، المحلية والإقليمية، التي يتعرض لها الجمهور والتي تنتج عن هذه العمليات، بنحو ١٠٠٠ رجل سيفيرت. وتكون الجرعة الجماعية العالمية أكبر بمعامل يتراوح بين ١٠ و ١٠٠. وحتى لو اعتبرت الجرعة الجماعية الكلية ١٠٠ رجل سيفيرت فهي تشكل جزءا صغيرا من الجرعة الفعّالة الجماعية التي تتأتى من برامج التجارب.

١٤٠ - وكما في حالة التجارب فإن بعض الجرعات المحلية كانت كبيرة. ويجري حاليا تقييم الجرعات التي انطلقت بالقرب من منشأة إنتاج البلوتونيوم في هانفورد بولاية واشنطن، الولايات المتحدة. وتشير النتائج الأولية إلى أن الجرعات التي تصيب 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 السوفيتية المقامة بمحاذة كيشتميم بجبال الأورال، إلى انطلاق جرعات فعّالة جماعية تناهز ١ سيفيرت في بعض الأماكن الواقعة على شواطئ الأنهار والممتدة إلى مسافات تصل إلى ٣٠ كيلومترا من المواقع، وذلك لبضع سنوات في أوائل الخمسينيات.

٤ - التعرضات الناجمة عن إنتاج الطاقة الكهربائية النووية

١٤١ - ظل توليد الطاقة الكهربائية في محطات الطاقة الكهربائية النووية يتزايد منذ بداية هذه الممارسة في الخمسينيات وذلك على الرغم من أن معدل ازدياده تدنى الآن عن معدل ازدياد 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 ٢٠٠٠ غيغاوات سنة.

١٤٢ - وكما حدث في التقرير السابق الصادر عن لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري، أُجري تقدير للجرعة الفعّالة 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 وتصريف 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 الفعّالة الجماعية المتجمعة، محسوبة على أساس الوحدة من الطاقة المولدة، وذلك بالاستعانة بالنماذج البيئية المعممة التي وضعتها اللجنة في التقارير السابقة الصادرة عن لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري. وأعدت تقديرات منفصلة للمكونات المنمطة الناجمة عن حالات التعرض المحلية والإقليمية وعن حالات التعرض للنويدات المشعة المنبثة على نطاق العالم. ويبين الجدول ٢ المساهمات الرئيسية. وقد اجتزئت 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 أُجريت أهم التخفيضات في تشغيل المفاعلات وإعادة التجهيز، ورافتها شيء من الزيادة في التقديرات الخاصة بالتعدين والطحن. ولذلك فإن القيمة الحالية لا تمثل كامل فترة إنتاج الطاقة الكهربائية النووية، لكون الجرعة المنمطة الصادرة في الجزء الأول من الفترة أعلى قليلاً من المتوسط. ويقدر أن الجرعة الجماعية الكلية الصادرة عن النفايات السائلة المنبثة من دورة الوقود النووي حتى نهاية عام ١٩٨٩ تزيد بمقدار طفيف عن ١٠ ٠٠٠ رجل سيفيرت. أما مقدار الجرعة الجماعية الصادرة عن النويدات المشعة المنبثة على نطاق العالم وعن تصريف النفايات الصلبة، فهو غير مؤكد، لأنه يعتمد على ممارسات معالجة النفايات في المستقبل وعلى الزيادة في عدد سكان العالم خلال فترة الـ ١٠ ٠٠٠ سنة المقبلة. وباستخدام تقدير (٢٠٠ غيغاوات سنة) - ١ المبين في الجدول ٢، يقدر أن إجمالي الطاقة الكهربائية النووية المولدة، وهو ٢ ٠٠٠ غيغاوات سنة، قد أُطلق جرعة فعّالة جماعية تبلغ ٤٠٠ ٠٠٠ رجل سيفيرت.

١٤٥ - وإذا كان المعدل الحالي للتوليد، والقيم المنمطة الواردة في الجدول ٢، تمثل تمثيلاً صحيحاً فترة الـ ٥٠ سنة التي يشكل الوقت الراهن منتصفها، تكون الجرعة الفعّالة 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 النووية والتي يتعرض لها الجمهور

الجرعة الفعالة الجماعية المجمعة لكل وحدة من الطاقة المولدة [رجل سيفيرت (غياوات سنة) ⁻¹]	المصدر
المكونة المحلية والاقليمية	
١,٥ ٠,٠٠٣ ١,٣ ٠,٢٥ ٠,١	التعدين والطحن وإزالة النفايات انتاج الوقود تشغيل المفاعل إعادة التجهيز النقل
٣	المجموع (مقرباً)
المكونة العالمية (تشمل التخلص من النفايات الصلبة)	
١٥٠ ٠,٥ ٥٠	إزالة النفايات من المنجم ومن معدات الطحن التخلص من نفايات تشغيل المفاعل النويدات الاشعاعية المنتشرة على مستوى العالم والناجمة أساساً عن إعادة التجهيز وعن التخلص من النفايات
٢٠٠	المجموع (مقرباً)

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 تعرضاً، بين ١ ميكروسيغرت و ٢٠ ميكروسيغرت. أما الرقمان المناظران الخاصان بالمنشآت الكبيرة لإعادة تجهيز الوقود فهما ٢٠٠ ميكروسيغرت و ٥٠٠ ميكروسيغرت.

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 قصور في المعدات أو 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 إنتاج الأسلحة النووية، ثم نقلها، الى وقوع عدة حوادث. وحوادث النقل سببت تلوثاً محلياً بالبلوتونيوم غير أن الجرعة الجماعية الصادرة عن هذه الحوادث كانت منخفضة. ففي حادثة وقعت في بالوماريس، اسبانيا، كانت أعلى جرعة فعالة صادرة تقارب ٢٠٠ مليسيغرت. ونتجت عن حوادث أخرى في البر، ومن فقدان أسلحة نووية في البحر، جرعات لا تصيب الناس بأثر يذكر.

١٤٩ - وأخطر حادثتين مرتبطتين بإنتاج الأسلحة النووية وقعتا في كيشتيم، بجبال الأورال الجنوبية في الاتحاد السوفياتي، في أيلول/سبتمبر ١٩٥٧، وفي منشأة وندسكيل في شيلافيلد 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 والسترونتيوم. ونجمت الجرعات عن نواتج انشطارية مخزنة في الأرض وعن دخول السترونتيوم في السلسلة الغذائية. وقد تشارك في التعرض للجرعة الجماعية، على نحو متساو تقريباً، الأشخاص الذين تم اجلاؤهم من المنطقة الشديدة التلوث (نحو ١٠ ٠٠٠ شخص) والأشخاص الذين ظلوا في المناطق الأقل تلوثاً (نحو ٢٦٠ ٠٠٠ شخص)، وتقدر الجرعة الجماعية الكلية لمدة ٢٠ سنة بنحو ٢ ٥٠٠ رجل سيفيرت. وكان المصابون بأعلى الجرعات هم الأشخاص الذين تم اجلاؤهم في غضون أيام قليلة من وقوع الحادثة. وبلغ متوسط الجرعة الفعالة التي تعرضت لها هذه الفئة، المؤلفة من ١ ١٥٠ شخصاً، نحو ٥٠٠ مليسيغرت.

١٥١ - أما حادثة وندسكيل فتمثلت في حريق اندلع في قلب مفاعل يبرد بالهواء، مكون من اليورانيوم الطبيعي والغرافيت، وكان الغرض من المفاعل، أساسا، إنتاج البلوتونيوم للأغراض العسكرية. أما المواد الرئيسية المنبعثة فكانت نظائر الزينون والأيودين والسيزيوم والبولونيوم. وكان أهم مسارات الدخول إلى 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، وتشمل المملكة المتحدة، قرابة ٢ ٠٠٠ رجل سيفيريت. وأصبحت بأعلى الجرعات الفردية الغدد الدرقية للأطفال الذين كانوا يعيشون قرب الموقع، ووصلت تلك الجرعات إلى ما يقرب من ١٠٠ مليغراي.

١٥٢ - وقد وقعت بعض الحوادث التي دمرت مفاعلات للطاقة الكهربائية النووية، وأهمها حادثة ثري مايل أيلند في الولايات المتحدة، وحادثة تشيرنوبيل في الاتحاد السوفياتي. وحادثة ثري مايل أيلند ألحقت ضررا خطيرا بقلب المفاعل، لكن نظام الاحتواء احتفظ بجميع النواتج الانشطارية تقريبا. ولم تتجاوز الجرعة الفعالة الجماعية التي نجمت عن هذه الحادثة ٤٠ رجل سيفيريت تقريبا. وكانت الجرعات التي تعرض لها أفراد الجمهور منخفضة، إذ أن أعلاها لم يزد إلا قليلا على ١ مليسفيرت.

١٥٣ - وحادثة تشيرنوبيل بحثت تفصيلا في تقرير لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري عن عام ١٩٨٨ (انظر الفرع "ثالثا"، ألف، ٨). وقد تبين أن الانفجار، وحريق الغرافيت الذي أعقبه، أديا إلى إطلاق جزء كبير من مخزون قلب المفاعل وتسببا في بث جرعات فعالة في نصف الكرة الأرضية الشمالي، وخصوصا في الاتحاد السوفياتي وأوروبا. ويقدر أن الجرعة الفعالة الجماعية التي تجمعت بفعل الحادثة كانت تناهز ٦٠٠ ٠٠٠ رجل سيفيريت. وكانت الجرعات الفردية متفاوتة متفاوتة شاسعا، 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 مليسفيرت في السنة التي أعقبت الحادثة إلى أقل من ١٠ مليسفيرت في كل سنة من السنوات حتى عام ١٩٨٩.

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

١٥٥ - ويحدث في بعض الأحيان أن تفقد، أو تلتف، 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 عن بعد، غير مرخص به ومحتو على الكوبالت - ٦٠ باعتباره خرقة معدنية. وإلى جانب التلوث الواسع الانتشار الذي تحدثه منتجات الصلب في المكسيك والولايات المتحدة، تعرض حوالي ١ ٠٠٠ شخص لمستويات إشعاع عالية قاربت فيها

الجرعات الفعالة ٢٥٠ مليسيفيرت. وتعرض نحو ٨٠ شخصا لجرعات أعلى، تصل الى 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 بعد أن وجدوا في بيتهم جهازا محكم السد فيه مصدر للتصوير الشعاعي الصناعي يحتوي على الإيريديوم - ١٩٢، واحتفظوا به. وكانت الجرعات الفعالة تتراوح بين ٨ و ٢٥ سيفيرت. وفي غويانيا، البرازيل، أزيل في عام ١٩٨٧ جهاز للمعالجة عن بعد، يحتوي على السيزيوم - ١٣٧، من غطاءه الواقعي وتم تهشيمه. وجرى التعرض إثر ذلك لجرعات شديدة من الاشعاع المباشر ومن التلوث المحلي. وقد تراوحت الجرعات التي تعرض لها الأفراد ضمن مدى أقصاه ٥ سيفيرت. ونقل أربعة وخمسون شخصا الى المستشفى، وتوفي أربعة منهم. وفي مقاطعة شانكسي، الصين، 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 على النطاق العالمي 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 لدرجات شديدة 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 لضبط حالات التعرض وضمان التقيد بالمقتضيات التنظيمية والسياسات الادارية. وهذان النوعان من المقتضيات يتجاوزان مجرد التقيد بحدود الجرعة الإشعاعية، بل قد يشملان متطلبات لتحقيق، وتوضيح، المستوى الأمثل من الحماية. ومن المحتم 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 عندما يكون من المتوقع أن تكون جرعاتهم منخفضة؛ أما رصد التعرض الداخلي فلا يجري إلا عندما يكون لازماً بالفعل. بيد أن بعض مجالات التعرض المهني قد لا تكون خاضعة للرصد الكافي. ويعتقد أن مستوى الإبلاغ عن التعرض المهني في العمل الطبي جيد في المنشآت الطبية الكبيرة، ولكن من المرجح ألا يكون في المنشآت الصغيرة مرضياً بنفس الدرجة.

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 قياساً كافياً للجرعات الفعلية. أما الجرعات الناجمة عن المصادر الداخلية فإنها تقدر استناداً إلى عدد من القياسات، من بينها مقدار المواد المشعة المطروح من الجسم أو المستبقى فيه، وتركز المواد المشعة في الهواء، في مكان العمل. والتقديرية تعتمد على نماذج التوزيع الزمني لمقادير الجرعات التي يتم التعرض لها وعمليات التحويل والاستبقاء في الجسم. ومن المتعذر تجنب انعدام اليقين بدرجة كبيرة.

١٦١ - وثمة قدر من الصعوبة في عرض المعلومات المتعلقة بالجرعة المنفردة النمطية التي يتعرض لها 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 بعض الشيء بمفهوم الجرعة الوسطى لكل عامل معرض بقدر قابل للقياس، وتجنبت 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، يعد تحديد مقدار الجرعة الجماعية مرضياً أكثر من غيره لأنه قليل التأثير باحتساب أعداد كبيرة من جرعات منفردة ليس لها تأثير يذكر.

١٦٢ - وهناك اختلافات واسعة بين المهن في الجرعات السنوية المسجلة التي يتعرض لها 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. والجدول ٣ يلخص المتوسط العالمي للجرعات السنوية التي تعرض لها العاملون الخاضعون للرصد وللجرعات الجماعية والمقترنة بها للفترة 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 مليسيفيرت و ٣ مليسيفيرت للفرد، مع وجود قيم أعلى من ذلك في بعض الطائرات التي تتجاوز سرعتها سرعة الصوت. وفي الصناعات الاستخراجية،

تتراوح الجرعات الفعلية السنوية، نمطياً أيضاً بين ١ مليسيفيرت و ٢ مليسيفيرت في مناجم الفحم، وبين ١ مليسيفيرت و ١٠ مليسيفيرت في المناجم الأخرى. وتقدر الجرعة المهنية الجماعية السنوية التي يتعرض لها هؤلاء العاملون بنحو ٦٠٠ ٨ رجل سيفيرت. بيد أن هذا التقدير غير يقيني تماماً بسبب محدودية بيانات الرصد الخاصة هؤلاء العاملين.

الجدول ٣: التعرضات المهنية السنوية العالمية للعاملين

الخاضعين للرصد، ١٩٨٥-١٩٨٩

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

(أ) لا تشمل الجرعات الناجمة عن التعرضات الطارئة لمصادر طبيعية. وتقدر الجرعة الجماعية الناتجة عن هذه المصادر الطبيعية بنحو ٦٠٠ ٨ رجل سيفيرت والجزء الرئيسي منها ناتج عن التعدين تحت الأرض لمعادن غير اليورانيوم. ويرجع زهاء نصف هذا المقدار الى تعدين الفحم.

١٦٤ - ويلاحظ أن التقديرات الملخصة في الجدول ٣ تختلف في بعض النواحي عما ورد في تقارير سابقة. وهذه التغييرات ناجمة أساسا عن قاعدة البيانات المحسنة التي أصبحت متوفرة الآن. وأكبر التغييرات يتعلق بتقديرات الجرعات المتأتية من التطبيقات الطبية، والكثير منها ناجم عن إشعاع ذي قوة نفاذ منخفضة. ومن ثم فإن أجهزة قياس الجرعات الشخصية المحمولة على سطح الجسم تغالي في تقدير الجرعة الفعلية، وخاصة إذا كان الجسم مزودا، كما هو شائع، بقدر من 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 تتباين الجرعة الجماعية السنوية الوسطية تباينا جوهريا في السنوات الـ ١٥ الأخيرة وذلك على الرغم من ازدياد الطاقة الكهربائية المولدة خلال تلك الفترة بما يربو على ٣ أضعاف وازدياد عدد العاملين بمقدار الضعف. والجرعة الفعلية الجماعية لكل وحدة طاقة كهربائية مولدة انخفضت بنسبة قدرها ٥٠ في المائة، كما انخفضت الجرعة الفردية الوسطية بنسبة قدرها ٣٠ في المائة والعاملون في عمليات التعدين والمعالجة هم الذين يتعرضون لأعلى الجرعات الفردية الوسطية. 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 المغالاة في التقدير 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 تكرارا، غير أن السياسة المتبعة بشأن الإبلاغ عنها تختلف اختلافا واسعا من مكان الى مكان. ولقد تلقت اللجنة منذ عام ١٩٧٥ معلومات تتعلق بنحو ١٠٠ حادثة مميتة أو منطوية على إمكانية التسبب في إصابات حتمية 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 الجرعات الناجمة عن الحوادث الخطيرة فإن تقديرها ليس سهلاً. غير أنها دون شك، صغيرة المقدار 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 المضطع بها لاحتواء آثار الضرر الذي أصاب مفاعل تشيرنوبيل. وهذا التعرض لم يكن تعرضاً في حادثة، وإن كان نتيجة مباشرة لوقوع حادثة. وشمل بتأثيره 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 الفعلية الجماعية النمطية المجمعة على مدى ٥٠ سنة من الممارسة في هذا الميدان بالنسبة لجميع مصادر التعرض الهامة لأحداث منفردة 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 طبيعياً في التربة والمياه والأغذية والجسم نفسه. ومصدر الإشعاع التالي في الأهمية هو الاستخدام الطبي للأشعة السينية والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية في مختلف الفحوص التشخيصية والعلاجات. وقد أدرجت في الجدول ٤ الجرعات المتلقاة من هذه التطبيقات في التشخيص والعلاج كليهما، مع أنها غير قابلة للمقارنة بدقة من حيث الضرر الناتج عنها.

١٧٢ - وقد تضاءلت حالات التعرض الناشئة عن اختبار الأسلحة النووية في الغلاف الجوي. فمنذ أن أُجري اختبار في عام ١٩٨٠ لم تجر أية اختبارات 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 عملاً مستحيلًا. 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 قد تصل عادة إلى ١٠ مليسيفيرت و ٢٠ مليسيفيرت. والطرائق الطبية المستخدمة في البلدان المتقدمة تؤدي عادة إلى تلقي الأفراد لجرعة فعلية 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 اختبار الأسلحة في الغلاف الجوي فقد ورد ذكره في تقرير الأونسيف لعام ١٩٧٧. وفي ذلك الوقت كان معظم النويدات القصيرة الأجل قد اضمحل. والجرعات الفعلية السنوية كانت تقارب ٥ ميكروسيفيرت. أما الجرعات الفعلية السنوية إبان بلوغ الاختبارات حداها الأقصى فكانت تتراوح على الأرجح بين ١٠٠ ميكروسيفيرت و ٢٠٠ ميكروسيفيرت في نصف الكرة الأرضية الشمالي. أما الجرعات الفعلية السنوية التي تلقاها أشد الناس تعرضا للإشعاعات بالقرب من منشآت القوى النووية فإنها تتراوح بين ١ ميكروسيفيرت و ٢٠٠ ميكروسيفيرت. والجرعات الفعلية السنوية المهنية التي تلقاها العمال الخاضعون للرصد تتراوح، حسبما هو شائع، بين ١ مليسيفيرت و ١٠ مليسيفيرت.

الجدول ٤ - الجرعة الجماعية التي تلقاها سكان العالم من جراء ممارسات متواصلة طوال

فترة ٥٠ سنة، أو من جراء أحداث منفردة، من عام ١٩٤٥ إلى عام ١٩٩٢

المصدر	أساس تلقي الجرعة من جراء التعرض	الجرعة الفعلية الجماعية (مليون رجل سيفيرت)
المصادر الطبيعية	المعدل الجاري خلال ٥٠ سنة	٦٥٠
التعرض الطبي التشخيص المعالجة	المعدل الجاري خلال ٥٠ سنة	٩٠ ٧٥
اختبارات الأسلحة النووية في الغلاف الجوي	الممارسة المنجزة	٣٠
الطاقة النووية	الممارسة الاجمالية حتى الآن المعدل الجاري خلال ٥٠ سنة	٠,٤ ٢
الحوادث الجسيمة	الحوادث التي وقعت حتى الآن	٠,٦
التعرض المهني الطب الطاقة النووية الاستخدامات الصناعية الأنشطة الدفاعية التعدين لغير اليورانيوم الإجمالي (جميع المهن)	المعدل الجاري خلال ٥٠ سنة	٠,٠٥ ٠,١٢ ٠,٠٣ ٠,٠١ ٠,٤ ٠,٦

خامسا - إدراك مخاطر الإشعاع

١٧٥ - لكلمة "خطورة" عدة معانٍ مختلفة. فهي تستخدم كثيرا على نحو وصفي لغرض الإشارة إلى 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. وتلك الكلمة تستخدم أحيانا بمعنى يقصد به احتمال حصول نتائج معاكسة معينة، بل إنها تستخدم على نطاق واسع أيضا على أنها تدل على معنى يجمع بين ذلك الاحتمال وقدر ما من الشدة التي تعزى إلى تلك النتائج المحتملة. وهذه المعاني المختلفة تسبب التشوش لدى الاختصاصيين؛ مع أن من المحتمل أن لا يكون لها سوى تأثير ضئيل في موقف الجمهور العام. فالمخاطرة، بالنسبة إلى الجمهور، لا تنطوي غالبا، إلا على دلالة وصفية أو نوعية. كما أنه قد ينظر إلى بعض المخاطر على أنها أسوأ من غيرها، وذلك، من ناحية، لأن الظن يذهب إلى ترجيح حصول النتائج، ومن ناحية ثانية لأن النتائج، إذا 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 إلى الخطورة تؤثر فيها عوامل كثيرة. وتلك العوامل تشمل مصدر الخطورة وطبيعتها، ومدى كونها جزءا مألوفا من الحياة، ودرجة الاختيار والتحكم التي يظن أنها متاحة للفرد. والثقة في المسبب الأصلي للخطورة أو الضابط الناظم لها، بالإضافة إلى أمور كثيرة أخرى. وأي مناقشة للمخاطر، قائمة على تقديرها من حيث الكم لا بد من أن تشمل على أحكام علمية واجتماعية على حد سواء.

١٧٦ - وإزاء هذه الخلفية، ليس ثمة من سبب لكي يتوقع المرء أن يكون موقف الجمهور تجاه خطورة ما مثل الموقف ذاته الذي يقفه أولئك الذين يقدرّون المخاطر كميا وقيمون أهميتها ويتولون إدارتها. وبالتالي فإن مهمة اللجنة إنما تكون في توفير التقديرات الكمية للمخاطر المرتبطة بالإشعاعات المؤيئة. كما أن آثار التعرض يعبر عنها من حيث علاقتها باحتمال حصولها، وبسنين الحياة التي فقدت في حالة وقوع العواقب المميتة، وكذلك لشدة العواقب غير المميتة. غير أن اللجنة ليست معنية بإصدار الأحكام بشأن الأهمية النسبية التي تتسم بها أنواع المخاطر المختلفة التي يتعرض لها المجتمع، ولا بتولي إدارة المخاطر. ولذا فإن اللجنة تهدف إلى عرض ما تتوصل إليه من نتائج بطريقة محايدة، وهي تظن أن من المستحسن أن تؤخذ في الحسبان، على نحو ما، الاختلافات المحتملة في الطريقة التي يتبعها القراء غير الاختصاصيين في إدراك استنتاجاتها.

١٧٧ - وأهم استنتاج هو أنه ليس ثمة اتساق في تقييم المخاطر أو المقارنة بينها أو قبولها، سواء بين الأفراد أو المجتمعات، ولقد أحرز تقدم جدير بالاعتبار 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 بميزات المجتمع الذي يعيش فيه ذلك الفرد، كذلك فإن جانبا كبيرا يتوقف في هذا الصدد على وعي الفرد بمصدر المخاطر المقصودة وطابعها.

١٧٨ - وفي جميع المهن والأنشطة التي تنطوي على تعامل بالاشعاعات، تم التسليم بأن تقدير المخاطر كميًا وإدراك كنهها هما مسألتان مهمتان، وكانت إحدى الصعوبات الكبرى في إدارة المخاطر تتمثل في الاستجابة إلى دواعي القلق لدى الأفراد والمجتمعات المحلية والمجتمع كله. ولقد دأب النهج الأساسي المتبع في إدارة المخاطر على تسويق الأنشطة أو الممارسات في هذا الميدان بالمنافع التي يوفرها، وكذلك على القيام بكل ما هو معقول من الأعمال بدرجة كبيرة من أجل تقليل المخاطر. ووجهات النظر المتعلقة بمدى نجاح هذا النهج تعتمد بدرجة كبيرة على مدركات من ينظر إلى هذه المسألة.

١٧٩ - وإيصال المعلومات المتعلقة بالاشعاعات إلى 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 شيئاً عن الإشعاع يربطون بينه وبين الحوادث والأسلحة والسقط الذري والسرطان؛ كما أن القلة القليلة جداً منهم تربط بين الإشعاع والتشخيص الطبي أو تعي خلفية التعرض الاعتيادي لمصادر الإشعاع الطبيعية.

١٨٠ - واللجنة تسلم بأن الكثير من العوامل الخارجة عن نطاق صلاحيتها تؤثر بدرجة كبيرة في الطريقة التي ينظر بها إلى النتائج التي تتوصل إليها. وقلق الجمهور إزاء مستويات الإشعاع وتأثيراته يتأثر أيضاً بما هو مدرك من الميزات التي تعزى إلى مصدر الإشعاع والآثار الاجتماعية التي ينطوي عليها أكثر مما يتأثر بجسامة التعرضات والمخاطر الناتجة عنها. ومع ذلك فإن اللجنة تقر بأنها ملتزمة بتقييم التعرضات الإشعاعية وبتقديم تقديرات لمخاطر الإشعاع تكون قائمة على أساس سليم ومتسقة وغير متحيزة. ويجب كذلك أن تكون المعلومات المقدمة جديرة بالثقة، ويمكن إيصالها بوضوح، إذا ما أريد لها أن تسهم في التوصل إلى اتخاذ قرارات إيجابية لصالح المجتمع كله.

سادسا - الملخص 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 الإجرائية يقلل التعرض لكل وحدة من الممارسة، بمقدار يكفي لمعادلة الزيادات الحاصلة في مستوى الممارسات.

١٨٢ - وبعض مصادر التعرض يظل مستواها ثابتا، في حين يستمر بعضها الآخر لفترات طويلة دون أن يظل مستواها ثابتا، بالضرورة. وثمة مصادر أخرى تكون ناشئة عن أحداث منفردة، أو سلسلة من الأحداث المنفردة، كاختبارات الأسلحة مثلا، والمصادر التي تطلق مواد مشعة في البيئة تطرح الجرعات الإشعاعية على مدى فترات مطولة، ولذلك فإن الجرعات السنوية الناتجة لا توفر لها مقياسا مرضيا لتأثيرها الإجمالي.

١٨٣ - وهذا التقرير يعرض الجرعة الجماعية التي تعرض لها سكان العالم، سواء أكانت متلقاة أو مجمعة، بدءاً من عام ١٩٤٥ وحتى نهاية عام ١٩٩٢ (أي طوال فترة ٤٧ عاماً)، 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 أساساً على الآثار الناجمة عن الجرعات المنخفضة. واحتمال وقوع هذه الآثار ضئيل، ولكنها تكون خطيرة عند وقوعها. غير أن الحدود المقيدة للاحصاءات تحول دون توفير الدراسات العلمية الوبائية لتقديرات مباشرة لخطورة الجرعات المنخفضة، مما يجعل من الضروري التعويل على البيولوجيا الإشعاعية لتوفير أساس يستند إليه في تفسير نتائج علم الأوبئة في هذا الصدد. ومن ثم فإن الأسلوب الذي يجمع بين علم الأوبئة وعلم الأحياء الإشعاعي، وخصوصاً على المستويين الجزيئي والخلوي. يعد أداة مفيدة في تحديد العواقب التي تنجم عن الجرعات المنخفضة من الإشعاع.

١٨٥ - ويعني واحد من أسرع ميادين هذا العمل تقدماً بآليات تسبب السرطان نتيجة لتغيرات تحدث في البنية الجزيئية للحامض النووي الريبوزي المنقوص الأوكسجين (د. ن. أ.). ومع أنه يجري أيضاً تحقيق تقدم سريع في دراسة الاختلالات الوراثية، لا يزال يتعين أن تستخلص، من الدراسات الحيوانية، تقديرات كمية للمخاطر الوراثية. وحتى التعرض لجرعات عالية من الإشعاعات في هيروشيما وناغازاكي، لم يتح الحصول، بدرجة كافية من الثقة، على تقديرات كمية للمخاطر الوراثية.

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

جيم - المنظورات

١٨٧ - إن تقديرات اللجنة بشأن التعرض للإشعاعات، وكذلك تقديراتها بشأن الخطورة الكامنة في هذا التعرض، تبين أن الإشعاع يعد أحد العوامل الضعيفة المسببة للسرطان. وحالات الوفاة الناجمة عن السرطان والتي يمكن أن تعزى إلى الإشعاعات المؤينة التي يتأتى أكثرها من المصادر الطبيعية والتي لا يمكن للإنسان أن يتحكم فيها تبلغ نسبتها نحو ٤ في المائة. ومع ذلك فإن هناك اعتقاداً شائعاً (ولكنه خاطئ) بأن جميع حالات الوفاة بالسرطان في هيروشيما وناغازاكي قد نتجت عن القصف الذري. غير أن الدراسات التي أجريت في هاتين المدينتين، وشملت فعلاً جميع الأفراد الذين تعرضوا بشدة للإشعاعات، قد بينت أنه

من أصل ٣ ٣٥٠ حالة وفاة بالسرطان لم يزد عدد الحالات التي يمكن أن تعزى إلى التعرض الإشعاعي من جراء القصف الذري عن حوالي ٣٥٠ حالة.

١٨٨ - وإحدى الطرق المتبعة في تقديم منظور بشأن الآثار التي تنطوي عليها مصادر الإشعاع التي هي من صنع الانسان تتمثل في مقارنة الجرعات الناتجة عن تلك المصادر بالجرعات الناجمة عن المصادر الطبيعية. ويعتبر اتباع هذه الطريقة سهلا من وجهة النظر الشاملة 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 فئات محدودة من الناس. وما يرد في الفقرة التالية يهدف إلى التمييز بين تلك الحالات.

١٨٩ - ومن وجهة النظر الشاملة فإن سنة واحدة للممارسة الطبية بالمعدل الحالي تعادل ٩٠ يوما تقريبا من التعرض للمصادر الطبيعية، ولكن الجرعات الفردية الناجمة عن الطرائق الطبية تتباين من الصفر (بالنسبة إلى الأشخاص الذين لم يخضعوا للفحوص أو المعالجات) إلى العديد من آلاف الجرعات المتلقاة سنويا من المصادر الطبيعية (بالنسبة إلى الأشخاص الذين يخضعون للعلاج الإشعاعي). وأكثر الجرعات المجمعة 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 فهو يناظر من وجهة النظر الشاملة هذه، 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 تعرضات هذه الفئة تماثل التعرضات الناجمة عن المصادر الطبيعية. أما فيما يخص الفئات الفرعية الصغيرة فإنه يلاحظ أن التعرضات المهنية لتلك الفئات تبلغ خمسة أضعاف التعرضات الناجمة عن المصادر الطبيعية. كذلك فإن الجرعة الجماعية التي تجمع طوال ١٠ ٠٠٠ سنة نتيجة للاختبارات النووية في الغلاف الجوي يكون توزيعها منتظما إلى حد كبير وهي تناظر نحو ٢,٣ سنة من التعرض للمصادر الطبيعية. وهذا الرقم يمثل كل برنامج الاختبارات، وهو غير قابل للمقارنة بأرقام سنة واحدة من الممارسة. وقد أدى حادث واحد فقط في منشأة مدنية للقوى النووية، وهو الحادث الذي وقع في تشيرنوبيل، إلى تعريض أفراد من الجمهور لجرعات أكبر من الجرعات الناجمة عن التعرض للمصادر الطبيعية في سنة واحدة. وهذا الحادث يناظر، من وجهة النظر الشاملة، حوالي ٢٠ يوما من التعرض للمصادر الطبيعية. ويرد في الجدول ٥ ملخص لهذه النتائج.

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

الفترة المعادلة من التعرض للمصادر الطبيعية	الأساس	المصدر
٩٠ يوما	سنة واحدة من الممارسة بالمعدل الحالي	التعرضات الطبية
٢,٣ سنة	الممارسة المنجزة	اختبارات الأسلحة النووية
١٠ أيام يوم واحد	إجمالي الممارسة حتى الآن سنة واحدة من الممارسة بالمعدل الحالي	محطات القوى النووية
٢٠ يوما	الأحداث حتى الآن	الحوادث الجسيمية
٨ ساعات	سنة واحدة من الممارسة بالمعدل الحالي	التعرضات المهنية

التذييل الأول

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

الاتحاد الروسي ^(أ)	ل. أ. ايليين (ممثل)، ر. أليكساخين، ر. م. باراخوداروف، ي. بولدakov، ف. بيبيشكو، ن. أ. دولنوف، أ. غوسكوف، د. ف. خوخلوف، ي. خولينا، ي. كومارف، أ. بافلوفسكي، ج. ن. رومانوف
الأرجنتين	د. بنينسون (ممثل)، إ. داماتو، س. آرياس، د. كانسيو، أ. كورتي، إ. بالاسيوس
استراليا	ك. ه. لوكان (ممثل)
ألمانيا ^(ب)	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. سميترز
بولندا	ز. يافوروفسكي (ممثل)، ج. يانكوفسكي، ج. لينيتشكي، أو. روزيك، س. ستيرلينسكي، إ. تزوميل
بيرو	ل. ف. بينيوس آشتون (ممثل)
سلوفاكيا ^(ج)	م. كليميك (ممثل)

(أ) في الدورات الثامنة والثلاثين والتاسعة والثلاثين والأربعين: اتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفياتية.

(ب) في الدورتين الثامنة والثلاثين والتاسعة والثلاثين: جمهورية ألمانيا الاتحادية.

(ج) في الدورات الثامنة والثلاثين والتاسعة والثلاثين والأربعين والحادية والأربعين، تشيكوسلوفاكيا.

التذييل الأول (تابع)

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

التذييل 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
