الفصل الرابع عشر

الإسعافات الإشعاعية
Radiation Emergencies

المقدمة

ربما لا يوجد في التقنية الحديثة ما يدعو إلى الخوف أكثر من التفكير بالحادث الإشعاعي. وسواء كان الخوف ناتجاً من تأثيرات القنابل، والموت الصامت، أو من التأثيرات في الأجيال القادمة فإن ذلك لا يهم أبداً. وكردة الفعل على هذا الخوف، أثارت وسائل الإعلام الإخبارية كل ضرر، أو أذية، أو موت كان قد نتج عن تسرب أو حادث نووي. كما أججت التصورات الخيالية رعباً مطلقاً مستوحى من الحوادث الإشعاعية. بالمعنى الدقيق للكلمة، يشير الحادث الإشعاعي إلى تحرير مواد مشعة أو إشعاع، في حين أن الحادث هو الحدث الذي يترافق مع احتمال حدوث تلوث إشعاعي. وإذا خرجت الأشياء عن السيطرة، فإنه يمكن للحدث أن يصبح حادثاً إشعاعياً. في نهاية الحرب الباردة، زال من الخيال خطر تصور حصول حرب نووية حرارية عالمية، لكن الأحداث الإرهابية تجبرنا على إعادة النظر في عواقب الإشعاع كسلاح تدمير شامل. وقد ازداد خطر السلاح النووي الخام وسلاح النشر الإشعاعي المستخدم في المجتمعات المدنية مع تزايد المنظمات الرئيسية المكرسة للإرهاب. هذه المنظمات لا تردعها أفكار التدمير الشخصية، وفي الحقيقة قد يتبنى البعض هذه الفكرة بسبب اعتقاد الحتمية

obeikandl.com

الديني. تعتبر القنبلة الذرية سلاح تدمير شامل، بينما ينتج السلاح المعزز للإشعاع إصابات شاملة بدون قوة تدميرية كبيرة. ينجم الدمار الناتج عن الانفجار النووي بشكل رئيسي من الانفجار الحاصل إضافة إلى التأثيرات الحرارية للسلاح النووي. بالإضافة للأذيات الناجمة عن الانفجار والتحرير الحراري لهذا الانفجار، يوجد اختلاط آخر للتعرض الإشعاعي الحاد والتعرض الإشعاعي المزمن وينجم هذا الاختلاط من السقط Fallout (الغبار الذري المتساقط).[١،٢] يعتقد أن ١٥٪ فقط من الوفيات الناتجة عن قنابل هيروشيما ونكازاكي كانت بسبب الإشعاع.[٣] ليس هناك أي خبرة تذكر في معالجة حالات الطوارئ الإشعاعية لدى كل من المستجيب لحالات الطوارئ وطبيب الطوارئ. قد يتوجب على هؤلاء المسعفين أنفسهم وبشكل مفاجئ أن يقدموا العناية إلى المئات وربما الآلاف من هذه الإصابات. لقد كانت الطاقة النووية ذات سجل سلامة فائق، على مستوى العالم، وذلك بالمقارنة مع تسريبات المواد الكيميائية، حرائق المصانع، كوارث مناجم الفحم، أو الحوادث الناجمة عن قطاع الإنشاءات. ولكي نحصل على بعض الأفكار حول ندرة الأذيات الإشعاعية الخطيرة، يجب النظر على بعض الإحصائيات المتسلسلة، فخلال فترة ٣٢ سنة الممتدة من عام ١٩٤٣م إلى عام ١٩٧٥م سجلت ١٠٠٨٦ حادثة متعلقة بالصناعات النووية لدى وكالة الطاقة الذرية. من بين ١٠٠٨٦ حادثة، هناك نسبة ٠,٤٪ (٤١) ناجمة عن التعرض الإشعاعي. وحدثت ثلاث حالات وفاة. منذ عام ١٩٤٥م إلى عام ١٩٨٦م تعرض أقل من ١٠٠٠ شخص في جميع أنحاء العالم لحوادث إشعاعية خطيرة (في حوالي ١١٠٠٠ حادثة)، وبين هؤلاء هناك حوالي ٥٠٠ شخص كانوا قد تعرضوا لجرعات ذات أهمية طبية من الإشعاع المتشرد مؤدياً ذلك إلى ٥٠ حالة وفاة.[٤] كما كان هناك أيضاً عدد قليل من حوادث مفاعلات القوى الكبرى أو حوادث تسرب ترافقت مع حالات وفاة. فقد وقعت حوادث في لوس ألموس عام ١٩٤٥م و١٩٤٦م في محطة

اختبار المفاعل الوطني في إيداهو عام ١٩٦١م. وفي إنجلترا حصل في عام ١٩٥٧م حريق في مفاعل مدار بيلكرافيت في منطقة وينسديل، وقد استمر الحريق ضمن هذا المفاعل ونتج عنه تسرب ضئيل فقط من الإشعاع للبيئة الخارجية. أما في الولايات المتحدة فقد استدعى التخريب الذي حصل عام ١٩٧٩م في أجهزة المفاعل ثري مايل آيلاند إلى استمرار عملية إزالة التلوث حتى الآن. كذلك، كان هناك تسرب بسيط من المواد المشعة إلى البيئة الخارجية ولم يكن هناك على الإطلاق أذيات ناتجة عن هذا الحادث.[٥] طبعاً، كل هذا قد تغير في ٢٦ نيسان عام ١٩٨٦م في مدينة تشرنوبيل شمال أوكرانيا عندما توفي على الأقل ٣٠ شخصاً في أسوأ حادثة إشعاعية في التاريخ.[٦،٧] وبسبب تكتم الاتحاد السوفيتي على التقارير فإن العدد الإجمالي للوفيات الذي حدث في هذه الفاجعة لا يمكن معرفته أبداً. إن التأثيرات الضارة لهذا الحادث سوف تستمر لسنوات قادمة أخرى، حيث إن أكثر من ١٠٠٠٠٠ شخص تعرضوا لمستويات عالية من الغبار الذري المتساقط. يجب اعتبار هذا الحادث إنذاراً للجميع على أن الطاقة الذرية قد تسبب أذية بعيدة عن المصدر إذا لم تتخذ الاحتياطات المناسبة. لقد كان لمروجي الأخبار يوم مشهود لهذه الكارثة الفظيعة، مع ذلك فإن الكوارث الطبيعية الأخرى قد تسببت في وفيات أو أذيات أكثر (مثال طوفان مدينة جونستون في بومبي، زلزال سان فرانسيسكو، الزلزال الأمريكي ١٩٨٨م، وحتى الحادثة الكيميائية في بهوبال). لسوء الحظ، إن المعطيات الروسية القليلة حول معالجة هذه الأحداث مذكورة في كتب طب الطوارئ، وقليل من المستجيبين أو المسعفين لم يستلموا أكثر من مجرد معلومات رمزية حول كيفية التعامل مع الإصابة التلوثية الإشعاعية. تُظهر حادثة تشرنوبيل بجلاء أنه في حال وجود خلل كبير في محطة الطاقة النووية الإشعاعية، فإن ذلك يستطيع أن يحرر كميات كبيرة من المواد المشعة إلى البيئة. كما يُظهر هذا أيضاً أن مثل هذا التحرير يسبب اضطراباً هائلاً في الخدمات الأساسية الوطنية والمحلية. لقد

لاحظ الإرهابيون هذا الشيء وقد أظهروا من قبل مقدرة على صنع واستخدام أجهزة نشر المواد المشعة. وقد تآمروا أيضاً على تدمير محطات الطاقة النووية إلى نفس النهاية. إن إمكانية حدوث تسرب إشعاعي أو وقوع حادث في محطة الطاقة النووية أمر واقعي، ويجب على جميع المرافق الطبية القريبة أن تكون جاهزة لمعالجة مثل هذا الحادث. لقد صممت المشافي ومرافق العناية الطبية الأخرى قرب محطات الطاقة النووية لاستيعاب الإصابات المحتملة الناجمة عن مثل هذه الحوادث وقد جهزت بسياسات حوادث الإشعاع المعتمدة لمعالجة تلك الإصابات.[٨] على كل حال، إن هذه المشافي المجهزة جيداً بما فيها مقدمو الخدمة الطبية قد تنقصها الخبرة في معالجة التحرير الإشعاعي المتعمد الذي يقوم به الإرهابي أو في كيفية تخفيف الآثار الناجمة عن الأسلحة النووية الخام. تعتبر مصادر الإشعاع الأخرى أكثر انتشاراً من القنابل والمفاعلات.[٩] لقد تسلل استخدام المواد الإشعاعية والأجهزة المنتجة للإشعاع إلى الصناعة الأمريكية في جميع المستويات. إن أكثر مصدر إشعاعي شيوعاً هو وحدة أشعة X التشخيصية المعروفة في المشافي ومكاتب الأطباء وأطباء الأسنان. واستعملت أيضاً المصادر الإشعاعية في مقاييس السماكة ومقاييس الرطوبة وتستخدم في عمليات تعقيم الإمدادات الطبية، الأطعمة، والمواد. تستخدم الكاشفات والمصادر الإشعاعية في خطوط الأنابيب وفي الاختبار غير المدمر في الطائرات وأجزاء الآلات. العلامات الشعاعية مشهورة في البحوث في جميع حقول الكيمياء. باختصار، قد تكون مصادر التعرض الإشعاعي أكثر انتشاراً من ذلك بكثير مما يعرف عادة. إن المصادر الإشعاعية ليست محصورة فقط في الأسلحة ومواد المفاعلات. أي من هذه الأجهزة قد يستخدم كمصدر سلاح نشر إشعاعي.

قد يشكل نقل النظائر المشعة radioactive isotopes أكبر خطر تعرض غير إرهابي للإشعاع بالنسبة لمقدمي الخدمات الإسعافية. وتتراوح المصادر الإشعاعية هذه

من النظائر المشعة الطبية والصناعية إلى وقود المفاعلات النووية وحتى، بالطبع، إلى مواد الأسلحة النووية. يجب أن توسم بوضوح هذه المواد وتعبأ بشكل مناسب. لحسن الحظ، فإن الحوادث ذات الأخطار الكبيرة لا تحدث من قبل مواد الأسلحة النووية والعناصر المتعلقة بها. إن السرية العسكرية والحوادث النووية العسكرية وفرق مكافحة الحوادث (NAIC) موجودة في جميع أنحاء الولايات المتحدة. وهناك أيضاً اثنان من الطاقم الطبي الاستشاري الإشعاعي العسكري المعين مهيئان للمساعدة الطبية الإضافية أو الاستشارية عند الحاجة. تراقب فرق NAIC بشكل دقيق حركة الأسلحة الكيميائية ومواد الأسلحة بسبب التهديد الإرهابي الصريح لهذه العناصر كما أنهم يستجيبون بسرعة لأي حادث يتعلق بالطيران أو السفن التي تنقل الأسلحة. من المحتمل أن يكون قسم الطوارئ المدني مسؤولاً عن حوادث المصادر الإشعاعية الطبية أو الصناعية أكثر من حوادث المصادر العسكرية أو النقل العسكري. وقد تتضمن مثل هذه الحوادث حالات الرضوض الأخرى للمصاب بالإضافة إلى تأثيرات الإشعاع. إن أكثر سيناريو طبي شائع للحوادث الإشعاعية هو حصول تسرب داخل قسم الطب النووي للمشفى ذاتها أو الحاصل من نقل المواد ضمن محيط منطقة الاستجابة الفورية للمشفى. تعتمد المعالجة الإسعافية لإصابات الإشعاع على شكل التعرض وعلى كمية التعرض. قد يتعرض الشخص للأشعة عن طريق أشعة X أو أشعة غاما ($\hat{y}$) أو قد يكون تم إدخال مواد إشعاعية إلى جسمه أو أنه قد تلوث بمواد مشعة.

حوادث ذات صلة بالإشعاع

لوس ألاموس لقد كان المختبر في مدينة لوس ألموس في ولاية نيومكسيكو مكان أكبر سر في عصر الحرب العالمية الثانية لمشروع منهاتن. لقد تم تكليف المشروع الذي قاده ج. روبرت أوبنهايم عام ١٩٤٣م للقيام ببحث حول المواد المشعة للاستخدام الحكومي. وكانت حصيلة

هذا البحث بالطبع إنتاج أول قنبلة ذرية عام ١٩٤٥م في موقع ترينيتي من مختبر لوس ألموس حيث كانت أول قنبلة نووية تتم تجربتها. بعد أسابيع قليلة فقط قامت الولايات المتحدة بإسقاط القنابل الذرية على المدن اليابانية هيروشيما ونكازاكي. لقد أدت النشاطات في لوس أنجلوس إلى تلوث إشعاعي هام في المنطقة.

ثري مايل أيلاند

في عام ١٩٧٩م تسبب مصنع الطاقة النووية الكائن في مدينة ثري مايل أيلاند في ولاية بنسلفانيا في أكبر حادث نووي خطير في تاريخ الولايات المتحدة، ففي الثامن والعشرين من آذار من ذلك العام أدت سلسلة من الأعطال إلى زيادة حرارة الوقود النووي للمفاعل، فقد سخن الوقود كثيراً لدرجة أن كساء الزيركونيوم (الأنابيب الحاوية على كبسولات الوقود النووي) تفاعل مع الماء المحيط وولدت الهيدروجين. ومن ثم تسرب هذا الهيدروجين إلى عازل بناء المفاعل. ازداد النشاط الإشعاعي كثيراً في مبرد الفاعل مما أدى إلى تسربات في جهاز التبريد. أدت هذه التسريبات لمستويات إشعاعية عالية في أجزاء أخرى من المصنع وانبعاثات قليلة إلى المحيط. على الرغم من عدم حدوث وفيات نتيجة لهذا الحادث، فإن هذا الحادث أدى لجهد تنظيف لمدة عشر سنوات وجعل اللجنة التنظيمية النووية الأمريكية تقوم بتغييرات شاملة في كيفية تنظيم الوكالة للمرخصين لهم.

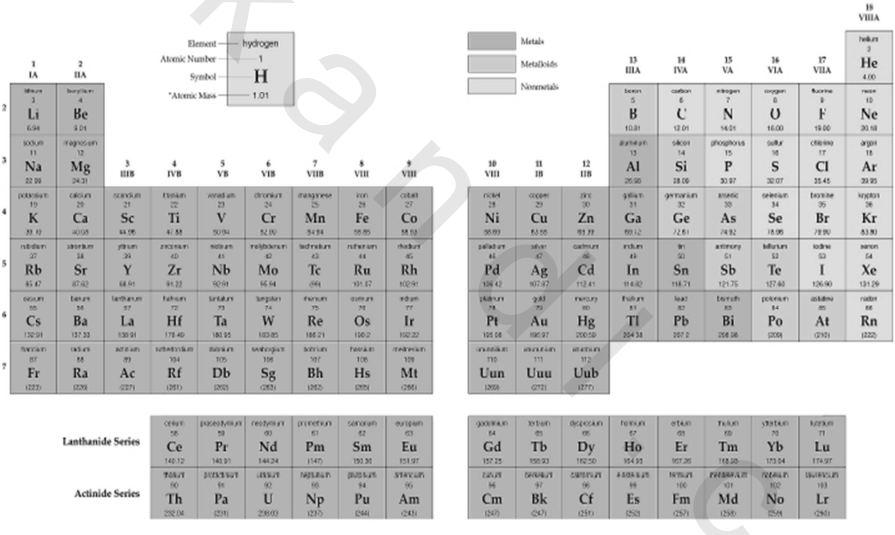
تشرنوبيل

لقد كانت حادثة مفاعل الطاقة النووية القريب من المدينة الأوكرانية تشرنوبيل أسوأ كارثة نووية في التاريخ. في ٢٦ نيسان عام ١٩٨٦م أدى انفجاران آليان إلى تدمير مركز مفاعل المصنع وإحداث فجوة في سقف البناء. لقد قدر أنه تم تسرب أكثر من مليون وحدة كوري من الإشعاع إلى الجو. وعلى الرغم من وفاة ٣٠ شخص مباشرة بسبب الانفجار، فإن تبعات الحادث الطويلة الأمد كانت هائلة. كانت أحد أهم التأثيرات البيئية الهامة بسبب توضع المواد المشعة في الطبقات العليا من التربة مما جعل المئات من الفدادين عقيمة والأبقار ملوثة وبالنهاية حدث التلوث البشري. لقد ازدادت نسبة حدوث سرطانات الدرق عند الأطفال في المناطق المحيطة بتشرنوبيل وازداد عدد السرطانات الأخرى، كل ذلك ارتبط بهذه الكارثة.

فيزياء الإشعاع Radiation Physics

من أجل بحث معالجة الإسعافات الإشعاعية بشكل دقيق فإنه يجب القيام بمراجعة قصيرة لفيزيائية الإشعاع والمواد المشعة. سوف تظهر عدة عوامل خلال هذا البحث، (الشكل رقم ١٤-١) يظهر الجدول الدوري للعناصر المشعة كمرجع.

يتعرض الناس يومياً للإشعاع. هذا الإشعاع يمكن إنتاجه أو أنه يحدث بشكل طبيعي من خلال انحلال نواة عنصر نظير مشع غير مستقر أو ينتج من إشعاع كوني. قد يوجد هذا الإشعاع المتبقي في الطعام والتربة والماء.



الشكل رقم (١٤-١). الجدول الدوري للعناصر.

يمكن أن يحدث الإشعاع المنتج اصطناعياً عندما يضمحل عنصر نظير مشع غير مستقر، أوعندما يصطدم تيار من الإلكترونات أو البروتونات أو النيترونات بهدف يؤدي إلى انحلال أو انبعاث إشعاع من العنصر الطبيعي. تتضمن مصادر الإشعاع كلاً

من فحوصات أشعة X التشخيصية ومواد الإشعاع المعتمدة لإنتاج مواد النظائر المشعة وحتى شاشة التلفزيون. تتضمن المصادر الأخرى للتعرض الإشعاعي فحوصات الطب النووي (صور الطب النووي) ومخلفات تجارب الأسلحة السابقة وحتى بقايا الحوادث النووية التفاعلية السابقة.

أنواع الإشعاع

إن التأثيرات الحيوية للأشكال المختلفة للإشعاع هي نتيجة عمل كل من الكتلة، والشحنة، والطاقة لنوع معين من الإشعاع. هناك نوعان من الإشعاع: كهربائي مغناطيسي وجزيئي.

الإشعاع الكهربائي المغناطيسي

الإشعاع الكهربائي المغناطيسي وهو عبارة عن طاقة. ليس للإشعاع الكهربائي المغناطيسي كتلة أو شحنة. يتضمن الإشعاع الكهربائي المغناطيسي كلاً من الضوء، الموجات القصيرة (الميكروويف)، الأشعة تحت الحمراء، الأشعة فوق البنفسجية، أشعة X، وأشعة غاما. يوصف عادة الإشعاع الكهربائي المغناطيسي بأنه إشعاع LET. LET ناقل الطاقة الخطي وهي النسبة التي يتخلى فيها الإشعاع عن طاقته وراءه خلال سيره عبر المادة. هذا يعني أن الإشعاع الكهربائي المغناطيسي أكثر قابلية على الاختراق من جسيمات الإشعاع. يولد التعرض لمصدر إشعاعي خارجي من إشعاع LET منخفض الدرجة إمكانية حدوث تخريب حيوي هام عميق داخل الجسم. في مشهد كارثي، تشكل أشعة جاما خطراً على المنقذين بالإضافة إلى المصابين. وتتم الوقاية الأفضل من إشعاع جاما وأشعة إكس باستخدام مواد كثيفة جداً مثل الرصاص أو الخرسانة أو الفولاذ.

إشعاع الجزيئات

جزيئات ألفا (α) ذات طاقة عالية ولها كتلة كبيرة. وبسبب الكتلة الكبيرة لجزيئات ألفا فإنه يمكن إيقافها بسهولة بواسطة مادة أخرى. تنتج جزيئات ألفا عن انحلال عناصر ثقيله مثل الرادايوم، والثوريوم، واليورانيوم. تشكل جزيئات ألفا خطراً كبيراً داخل الجسم، حيث تحدث جزيئات ألفا تفاعلات عديدة في النسج المحيطة. تضع هذه الجزيئات، بالشكل نموذجي، كل طاقتها في حجم صغير جداً (LET عالي). إن ناقل الطاقة من هذا الحجم ضمن الخلية يضمن عملياً موت الخلية. هذا يعني أن جزيئات ألفا تشكل خطراً كبيراً جداً إذا توضعت أو تم دمجها في الجروح، أو العظام، أو الرئتين. يشكل إشعاع الجزيء ألفا خطراً لا يذكر للمريض حتى لو كان باعث جزيئات ألفا على تماس مباشر بالجلد السليم لأن جزيء ألفا غير قادر على اختراق طبقة الكيراتين من الجلد. كما أن إشعاع ألفا غير قادر على اختراق المعدات والملابس أو غطاء المسبار. تستطيع البدلات المجهزة واللباس الجاف أن تبعد مصادر أشعة ألفا عن الجلد. على كل حال، تحمل الحماية التنفسية أهمية عظمى، لأن جزيئات ألفا تحدث ضرراً فقط عندما تكون داخل الجسم.

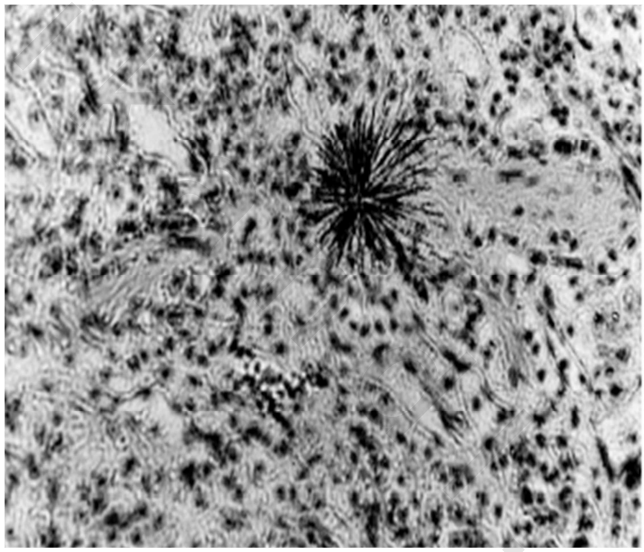
هناك أشكال من أدوات محدده صممت لقياس إشعاع ألفا (الشكل رقم ١٤-٢). يعتبر إجراء التدريب الخاص على استخدام الأدوات من أجل الحصول على قياسات دقيقة أمراً هاماً، وذلك بسبب زيادة الحساسية هذه الأدوات. لا يمكن لهذه الأدوات كشف أشعة ألفا حتى ضمن طبقة رقيقة من الماء، أو الدم، أو الغبار، أو الورق، أو مادة أخرى، لأن أشعة ألفا لا يمكنها اختراق هذه المواد. لا يمكن أن يكشف مقياس كاشف جيجر- مولر وجود المواد المشعة التي تطلق أشعة ألفا ما لم تطلق أيضاً هذه المواد المشعة أشعة بيتا أو أشعة غاما (الشكل رقم ١٤-٣).

الشكل رقم (١٤–٢). جهاز كشف أشعة ألفا.

الشكل رقم (١٤–٣). أكثر الأجهزة شيوعاً في كشف الإشعاع وهو أنبوب جيجر– مولر، ويدعى أيضاً عداد جيجر.

obeikandl.com

في (الشكل رقم ١٤-٤)، تظهر النجمة السوداء المسارات الحادثة خلال ٤٨ ساعة من قبل أشعة ألفا المنبعثة من جزيء مشع لعنصر البلوتونيوم الموجود في النسيج الرئوي للقرد (لايمكن رؤية الجزيء ذاته). في النسيج الرئوي الحي، وإذا ما تأذت إحدى الخلايا المجاورة للجزيء المحرر لأشعة ألفا بطريقة معينة، فإن هذه الخلية تصبح فيما بعد خلية سرطانية تنتشر بسرعة في الرئة وتسبب الموت غالباً.

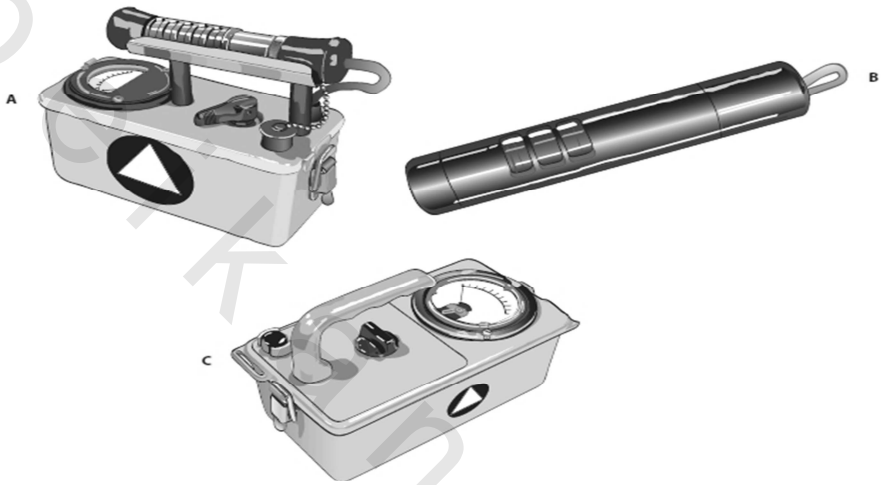


الشكل رقم (١٤-٤). مسارات الانبعاث على فلم تصوير ناتجة عن انبعاث أشعة ألفا من جزيء بلوتونيوم مشع بالرئة.

جزيئات بيتا (β) تنتج غالباً عن التفاعلات النووية والسيكلوترون cyclotrons. (السيكلوترون هو مسرع جزيئي يتم خلاله لولبة الجزيئات داخل اثنين من شكل D، فجوات، أقطاب كهربائية معدنية تحت تأثير حقل مغناطيسي عمودي قوي، اكتساب طاقة من خلال تطبيق تيار كهربائي عالي التردد بين هذه الأقطاب. يولد

ارتطام الجزيئات عالية السرعة على الهدف نظائر مشعة جديدة). (السيكلوترون هو جهاز لتحطيم نوى الذرات) ومن خلال سرعته العالية وكتلته الصغيرة يخترق جزيء بيتا بشكل أعمق من جزيء ألفا. يشكل جزيء بيتا تهديداً داخلياً هاماً للجسم البشري وتهديداً خارجياً ضئيلاً. إن الكتلة الصغيرة لجزيء بيتا تعني أنه نحتاج لكمية قليلة فقط من الدرع من أجل الحماية من جزيئات بيتا. إن النظائر المشعة المطلقة لأشعة بيتا شائعة في المختبر. يمكن أيضاً إطلاق إلكترونات عالية الطاقة بواسطة المجاهر الإلكترونية ومسرعات الجزيئات particle accelerators. النظائر المشعة لها استعمال كبير في الحقل الطبي في كل من مبدأ تقنية التشخيص وكذلك في معالجة سرطانات معينة. النظائر المشعة عادة عبارة عن مواد مشعة مطلقة لأشعة بيتا. إذا تم إدخال مركب مطلق لجزيئات بيتا في ورم ما فإن جزيئات بيتا سوف تخرب هذا الورم. وبما أن جزيئات بيتا تسير مسافة قصيرة فقط فإن كمية قليلة من الأنسجة الأخرى المحيطة سوف تتخرب. يستعمل اليود ١٣١ (I^{131}) في كل من تشخيص نشاط الغدة الدرقية ومعالجة سرطان الدرق. ويستعمل كل من الكوبالت ٦٠ (CO^{60})، والفوسفور ٣٢، والغاليوم ٦٧، والسيزيوم ١٣٧ (Cs^{137}) في المعالجة الشعاعية لسرطانات عديدة. كما يستعمل الصوديوم ٢٤ في إجراء عمليات مسح الدورة الدموية. يكمن الخطر الأكبر للبشر من التلوث الداخلي والذي بدوره يؤدي إلى حصول إشعاع موضعي من الجزيئات. تستطيع أشعة بيتا أن تخترق أيضاً الطبقة المولدة للأدمة الجلدية وتسبب حروق بيتا في الجلد. على كل حال، إن الخطر الداخلي لأشعة بيتا هو أكبر بكثير من الخطر الخارجي. تعتبر أشعة بيتا ذات شأن هام في مخلفات الانفجار النووي لكن الألبسة والتطهير تعتبران عموماً كافيتين في حماية كل من الفريق المنقذ والمرضى من أخطار جزيئات بيتا. إن أجهزة الكشف عن أشعة بيتا وأشعة جاما الموجودة في (الشكل رقم ١٤-٥). البروتونات هي ذرات نواة الهيدروجين المعراة ذات شحنة إيجابية واحدة. وعلى الرغم

من استخدام مسرعات حزمة الجزيئات للبروتونات، فإن إشعاع البروتونات لا يشكل مشكلة هامة لعمال الطوارئ.



الشكل رقم (١٤–٥). أجهزة كشف إشعاع بيتا وغاما. A. مقياس إشعاع CD V–700 (الدفاع المدني). B. منظر مقرب لمجس الجهاز CD V–700 مع فتح النافذة. C. جهاز كشف CD V–715

النيترون: هو جزيء النواة عديم الشحنة. تنطلق النيترونات بواسطة المفاعلات، وحزم النيترون، وبعض النظائر المشعة. إن المعدل الذي يتصرف به التفاعل الانشطاري fission reaction يتم تنظيمه من خلال السيطرة على عدد النيترونات المتوفرة للتفاعل. تحدث القنبلة النووية تفاعلاً انشطاريا نووياً غير مضبوط ينتج عنه كمية ضخمة من النيترونات. عموماً، لا يتم مصادفة الأشعة النيترونية في الطبيعة ما عدا التي تنتج أثناء التفاعلات الانشطارية. تنتج الأشعة النيترونية بكميات كبيرة إما من تفجير سلاح نووي وإما من حادث خطير في مفاعل نووي أو في مركز لمعالجة الوقود.

لسوء الحظ، إذا ما ارتطم تدفق نيتروني بطيء ذو قوة كافية بالجسم البشري فإن الكثير من عناصر الجسم مثل الصوديوم، والكلور، والفوسفور، والحشوات الذهبية سوف تصبح مواد مشعة. يتناسب هذا النشاط الإشعاعي المحدث المتبقي مع عدد النيترونات التي اصطدمت بالمادة ويمكن استخدامه في قياس مقدار النيترونات الواردة. إن هذا النشاط الإشعاعي المتأخر المحدث نادراً ما يكون كافياً لإحداث خطر على الطاقم الطبي، لأن ذلك يتطلب تفاعلاً انشطارياً نشطاً من أجل إنتاج هذه النيترونات. إن التعرض لأشعة النيترونات مقلق تماماً لأنه يُحدث تخرباً حيوياً واسعاً ينجم عن كل من النيترونات والجزيئات المشعة المتولدة جراء اصطدم هذه النيترونات بنوى أخرى. هذا التخريب الحيوي أكبر بكثير من التخريب الناتج عن الكميات ذاتها لأشعة بيتا أو جاما. تمتلك النيترونات قدرة قوية نسبياً على الاختراق ومن الصعب أن تتوقف في ذلك. يمكن الوقاية من أشعة النيترون متوسطة إلى منخفضة الطاقة باستخدام مواد ذات محتوىً عالً من الهيدروجين مثل الماء أو مواد البولي إتيلين البلاستيكية. أما أشعة النيترون عالية الطاقة فيمكن الوقاية منها بشكل أفضل باستخدام مواد أكثر كثافة مثل الفولاذ أو الرصاص. غالباً ما يستخدم درعاً متعدد الطبقات من أجل إبطاء النيترونات السريعة أولاً ومن ثم امتصاص النيترونات البطيئة. (الشكل رقم ١٤-٦) يوضح المواد التي تستخدم كوقاية من الأشكال المختلفة للإشعاع، حيث يظهر أن أشعة ألفا يتم إيقافها بواسطة الورق. وأشعة بيتا يمكن إيقافها تماماً بمواد مثل الألبسة. بينما يمكن إيقاف أشعة غاما بواسطة طبقة سميكة من الرصاص أو الخرسانة. أما أشعة النيترونات فيمكن إيقافها بمواد كثيفة مثل الفولاذ أو الرصاص. يظهر الجدول رقم (١٤-١) كميات الإشعاع التي تنتج من أنواع مختلفة من التعرضات.

الشكل رقم (١٤–٦). يمكن إيقاف جزيئات ألفا بالورق. يمكن إيقاف جزيئات بيتا تماماً بمواد مثل الثياب. يمكن إيقاف أشعة غاما بصفيحة سميكة من الرصاص أو الخرسانة. يمكن إيقاف أشعة النيترونات بمواد كثيفة مثل الفولاذ أو الرصاص.

الجدول رقم (١٤–١). التعرض الإشعاعي الشكلي Nominal Radiation Exposures.

مصدر الإشعاع التعرض الناتج
التعرضات الطبيعية والعلاجية
العيش قرب مفاعل يعمل بشكل طبيعي mrem /yr < ١
مشاهدة تلفزيون ملون mrem /yr ١
السفر بالطائرة من نيويورك إلى سان فرانسيسك ٥mrem
أشعة السينية للصدر mrem ٥٠
الإشعاع الأساسية الطبيعية ١٥٠mrem
التصوير الظليل للكلية mrem ٥٠٠
التعرضات الإمراضية
نضوب اللمفاويات الحاد 25 REM
الغثيان والإقياء 100 REM
LD_{50} (إنسان غير معالج) 450 REM
LD_{100} (١٠٠٪ موت في البشر) 1000 REM
متلازمة عصبية مركزية / قلبية وعائية حادة 5000 REM

مأخوذ من كتاب كونكلين ج ج ولكر أكاديمية اللإشعاع الحربي، نيويورك ١٩٨٧ صفحة ١٦٥–١٩٠.

obeikandl.com

الجدول رقم (١٤-٢). الحدود الموصى بها للتعرض الإشعاعي.

التعرض للجرعة السنوية*
الجمهور العام
عمال الإشعاع المتقطعين ٥٠٠mrem
امرأة في سن الإنجاب
القاصرون
عمال الطوارئ (كل الجسم) mrem ٢٥٠٠٠
الأعمال المنقذة للحياة mrem ١٠٠٠٠٠
عمال الأشعة. كل الجسم بما فيها المناسل
والعدسات العينية ونقي العظم الأحمر mrem ٥٠٠٠
عمال الأشعة. كل الأعضاء الأخرى بما فيها الدرق mrem ١٥٠٠٠
عمال الأشعة. اليدين ٧٥٠٠٠ (٢٥٠٠٠ بالمربع)
عمال الأشعة. الساعدين ٣٠٠٠٠ (١٠٠٠٠ بالمربع)

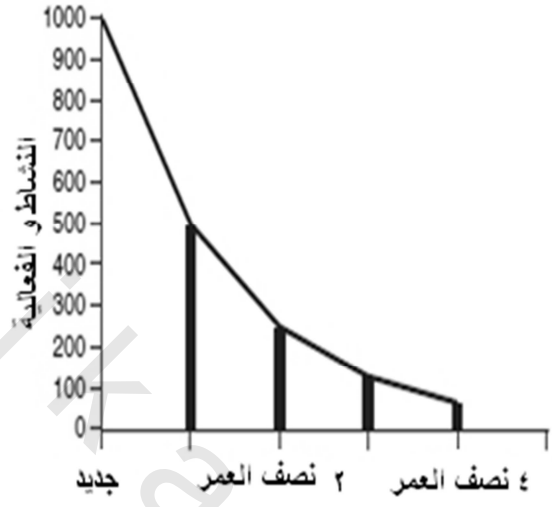
* من فضلك ملاحظة أنه من المتفق عليه عموماً أن يبقى التعرض للإشعاع منخفضاً بالقدر المعقول الذي يمكن تحقيقه.

مأخوذ من وثيقة مجهولة ٢٢,٦ التعرض للإشعاع في حالة الطوارئ يوليو ٢٠، ٢٠٠٣.

العمر النصفي Half-Life

العمر النصفي هو الزمن المطلوب لكمية ما من مادة مشعة لكي ينقص نشاطها إلى النصف من النشاط الأصلي (الشكل رقم ١٤- ٧). إن العمر النصفي لنظير ما هو دائماً نفسه، فهو لا يعتمد على كم عدد الذرات التي تملكها أو على كم من الوقت بقيت حولها. تختلف قيم العمر النصفي للنظائر المشعة بشكل واسع. يظهر الجدول رقم (١٤-٣) قيم الأعمار النصفية لبعض النظائر المشعة الشائعة.

obeikandi.com



الشكل رقم (١٤–٧). العمر النصفي هو كمية الوقت المطلوبة لمادة ما لينقص نصف عمرها.

الجدول رقم (١٤–٣). الأعمار النصفية لبعض النظائر.

النظير المشع	العمر النصفي
الباريوم ١٤٠	١٣ يوماً
الكربون ١٤	٥,٧٣٠ سنة
السيزيوم ١٣٧	٣٠ سنة
الهيدروجين ٣ (التريتيوم)	١٢,٣ سنة
اليود ١٣١	٨ أيام
اليود ١٢٥	٦٠,١ يوم
الفوسفور ٣٢	١٤,٣ يوم
الفوسفور ٣٣	٢٥,٣ يوم
البلوتونيوم ٢٣٨	٨٥,٣ سنة
البلوتونيوم ٢٣٩	٢٤٠٠٠ سنة
البلوتونيوم ٢٤٠	٦٥٠٠ سنة

obeikandi.com

تابع الجدول رقم (١٤-٣).

النظير المشع	العمر النصفي
البوتاسيوم ٤٠	١,٣ بليون سنة
السترونتيوم ٩٠	٢٩ سنة
الكبريت ٣٥	٨٧,٦ يوم
التكنيسيوم ٩٩	٢ مليون سنة
اليورانيوم ٢٣٥	١٣ مليون سنة
اليورانيوم ٢٣٨	٤,٥ بليون سنة

العمر النصفي الحيوي Biological Half-Life

العمر النصفي الحيوي هو الزمن الذي يستهلكه كائن حي لكي يتخلص من نصف الكمية من المركب أو المادة الكيميائية. وهكذا، إذا أعطي مركب كيميائي مستقر لشخص ما وكان نصف المركب قد تخلص منه الجسم (ربما عن طريق البول) خلال ثلاث ساعات، فإن العمر النصفي الحيوي سوف يكون ثلاث ساعات. إن فكرة العمر النصفي الحيوي تنطبق بالمثل على المواد الكيميائية مثل مبيدات الحشرات والنظائر المشعة. يستخدم تعبير عبء الجسم body burden كدليل على المادة المشعة المتوضعة داخلياً. إن كمية النظير المشع التي قد توجد في الجسم لفترة في حياة المرء ولا تمتلك خطراً معقولاً في إحداث المرض يشار إليها بعبارة عبء الجسم ذو الحد الأقصى المسموح به (MPBB). هذه الكمية مختلفة لكل نظير. يتم عادة التعبير عن الكمية من النظير المتوضع داخل الجسم بالنسبة المئوية MPBB التي تم تحديدها لهذا النظير.

العمر النصفي الفعال Effective Half-life

يدمج العمر النصفي الفعال كلاً من نصف العمر الحيوي ونصف العمر الشعاعي معا. يستعمل هذا العمر عندما يحسب أخصائي فيزياء الصحة الجرعة الواردة

من مصدر إشعاعي داخلي. لتحديد العمر النصفي الفعال لـ **النوكليد المشع** radionuclide في شخص ما يجب معرفة العمر النصفي الشعاعي بالإضافة للعمر النصفي الحيوي لذلك النوكليد المشع بالإضافة إلى الأعمار النصفية للمركبات التي شكلها.

قياس الإشعاع
Measurement of Radiation

يمكن قياس كمية الإشعاع الفورية في اللحظة التي يرتطم فيها الإشعاع بشيء ما أو عند تحديد المقدار التراكمي. هناك نظامان مختلفان يمكن استعمالهما لقياس هذين النوعين من الوحدات.

قياسات التدفق Flux Measurements

إن مقياس التدفق الإشعاعي العادي هو مقياس المسح لجايجر ومولر أو عداد الومضات، والذي يدعى عادة بعداد جايجر. تقيس هذه الأجهزة عدد الومضات أو الشرارات المتشردة الحادثة بواسطة الإشعاع خلال وحدة من الزمن. تحدد هذه الأجهزة كمية الإشعاع الممتصة إذا استمر التدفق على نفس المستوى في الفترة الزمنية الموصوفة. لقد كان العالم هانز جايجر أول من شاهد جزيئات ألفا وبعد ذلك اخترع عداد جايجر. يحتوي عداد جايجر عادة على أنبوب معدني مع سلك معدني رفيع على طول منتصف الأنبوب. المسافة بين الأنبوب والسلك طوقت بإحكام وملئت بغاز مناسب مثل غاز الأرغون. ثم شحن السلك إلى +١٠٠٠ فولت نسبة للأنبوب. عندما تدخل شاردة أو إلكترون الأنبوب (أو عندما يخرج إلكترون من جدار الأنبوب بواسطة أشعة اكس أو أشعة غاما) فإنها سوف تقتلع الإلكترونات من ذرات الغاز. وبسبب وجود الفولتية الإيجابية العالية في السلك المركزي، فإن هذه الإلكترونات تستقطب إلى السلك. وأثناء سيرها إلى السلك تكتسب الإلكترونات الطاقة وتتصادم مع ذرات أكثر وتحرر

إلكترونات أكثر حتى تؤدي العملية التراكمية هذه إلى الانهيار الذي ينتج عنه نبضة تيار كهربائي يمكن كشفه بسهولة. وباستخدام غاز تعبئة مناسب فإن تدفق الكهرباء يتوقف من تلقاء ذاته أو من خلال الدارات الكهربائية التي تستطيع إيقافها. من مساوئ عداد جايجر أن انهيار الإلكترونات يأخذ فترة معينة من الوقت، وإن هذا الكاشف غير قادر على كشف جزيء آخر أو موجة أخرى خلال هذا الوقت الميت الذي يحدث فيه الانهيار ويعاد ضبط الإلكترونات. إن عدادات جايجر بمفردها لا يمكنها التمييز بين إشعاعات غاما أو اكس أو بيتا أو ألفا. على كل حال، هناك ميزة توجد على بعض عدادات جايجر وهي وجود نافذة مفتوحة فوق أنبوب جايجر مولر.هذا يتيح تمييز الطاقة (يعني تحديد نوعية النشاط الإشعاعي التي تقيسه الوحدة) بين أشعة غاما واكس اللتين تعتبران قويتين لدرجة تمكنهما من عبور بحق حجرة عداد جايجر وبين أشعة ألفا وبيتا اللتين تعتبران ضعيفتين جداً في عبورهما للحجرة، لكنه يمكن قراءتهما من خلال النافذة المفتوحة للكاشف. إن مقاييس المسح غالباً ما تقلب نبضات التيار إلى نقرات مسموعة، منتجة الصوت المشهور في عدادات جايجر. يعمل عداد الومضة scintillation بطريقة ارتطام الإشعاع على مادة مناسبة (حيث يمكن مطابقتها مع الإشعاع) مما يؤدي لانبعاث وميض لحظي من الضوء يدعى الومضة. إن مزايا عداد الومضة هي كفاءته، دقته العالية، وارتفاع معدل فرز الإشعاعات. وهناك ميزة أخرى لعداد الومضة تكمن في متطلباته المنخفضة من الطاقة مقارنة مع أنبوب جايجر–مولر. هذا يعني أن البطاريات تدوم لفترة أطول بكثير في هذه الأجهزة.

قياسات الإشعاع الممتص Absorbed Radiation Measurements

إن القياس المعتاد للإشعاع الممتص هو مقدار الإشعاع الممتص الراد (rad) وهو يعبر عن توضع ١١٠ أرغ ergs من الطاقة في ١غرام من المادة بسبب الإشعاع. هناك مصطلح آخر يستعمل كثيراً يدعى الرونتجن (R) والذي يعبر عن ترسب ٨٧ أرغ من

أشعة X أو أشعة غاما في ١ غرام من الهواء. يعتبر الراد والرونتجن متساويين في معظم الأغراض. تخرب أنواع مختلفة من الإشعاع الأنسجة بطرق مختلفة، فالمقدار الممتص من الإشعاع والمقدر بالراد لا يرتبط دائماً مع التأثيرات الظاهرية للإشعاع على الأنسجة. هذا التأثير على الأنسجة يمكن أن يرتبط مع الإشعاع الذي يرتطم على الأنسجة، والذي يدعى مكافئ الرونتجن عند الثدييات (الرم rem). ويعبر عن التأثيرات النسيجية لأنواع محددة من الإشعاع بالفعالية الحيوية النسبية (RBE) وهو يحدد قياس الإشعاع الممتص، الراد. تتفاوت الفعالية الحيوية النسبية من ١ بمعظم أشعة X وأشعة غاما ومطلقات أشعة بيتا إلى ٢–١١ للنيترونات وحوالي عشرين بالنسبة لجزيئات ألفا.[١٠] عندما تكون الفعالية الحيوية النسبية RBE للنيترونات حوالي ٢ فإن مقدار ١٥٠راد من إشعاع النيترون يعتقد أنه مكافئ لـ ٣٠٠ راد من أشعة غاما في تأثيراتها على النسج. كلاهما يعبر عنهما مقدار ٣٠٠ رم.يستخدم الميلي رم (mrem) في معظم التعرضات الإشعاعية. يلخص الجدول رقم (١٤–٤) قياس الإشعاع. ويبين الجدول رقم (١٤–٥) الفعالية الحيوية النسبية لأنواع مختلفة من الإشعاع.

الجدول رقم (١٤–٤). قياس الإشعاع.

الكمية	الوحدة	ماذا يقاس	الكمية
النشاط	كوري (Ci)	كمية التفككات الحادثة خلال وحدة زمنية في ١غ من الراديوم، في النظام العالمي للوحدات (SI)، فإن وحدة البكيريل (Bq) هي وحدة النشاط الإشعاعي.	3.710 تفكك بالثانية ١ Bq = ١ تفكك بالثانية dps
التعرض	بكوريل (bq) الرونتجن (R) كولومبس /كيلوغرام	كمية الشحنة الناتجة في ١ كغ من الهواء بسبب أشعة اكس أو أشعة غاما. لا يطبق الرونتجن على جزيئات ألفا أو جزيئات بيتا أو النيترونات. في النظام العلمي للوحدات (SI)، كولومبس/كغ (C/kg) هي وحدة التعرض	$1R = 2.58\times10^{-4}$ C/kg

تابع الجدول رقم (١٤–٤).

الكمية	الوحدة	ماذا يقاس	الكمية
الجرعة الممتصة	الراد (rad) الغراي (Gy)	الراد هي كمية الطاقة الممتصة من الإشعاع في ١غ من المادة. في النظام العلمي للوحدات (SI)، الغراي (Gy) هي وحدة التعرض. ٢٠ راد من أشعة اكس لا تسبب نفس الأذى للبشر كمثل ٢٠ راد من جزيئات ألفا.	1 rad = 100 ergs/g (10mj/kg) 1Gy = 100 rad
الجرعة المعادلة	الرم (Rem) السيفرت (Sv)	المقدار الممتص المعدل لقدرة الإشعاع على إحداث التخريب. في النظام العلمي للوحدات (SI)، فإن السيفرت (Sv) هي وحدة التخريب الحيوي المطلق. الرم هي وحدة التخريب الحيوي.	Rem = rad × انظر RBE الجدول رقم (١٤–٥) 1 Sv = 100 rem

الجدول رقم (١٤–٥). الفعالية الحيوية النسبية.

الإشعاع RBE (رم/راد rem/rad)	مثال: كم عدد الراد من البروتونات التي ستقتل الشخص؟
جزيئات ألفا: ٢٠	إعطاء: ٦٠٠ رم هو تعرض قاتل.
نترونات: ١٠ (على المعدل)	إعطاء: إن RBE للبروتونات هو ١٠
بروتونات: ١٠	إعطاء: رم rem = راد rad × RBE
جزيئات بيت: ١	لذلك: ٦٠٠ رم ÷ ١٠ رم /راد = ٦٠ راد
أشعة غاما: ١	الجواب: ٦٠ راد من البروتونات سوف تقتل الشخص.
أشعة X: ١	

مقاييس الجرعات Dosimeters

يطلق على وسيلة القياس الاعتيادية للمقادير الممتصة من الإشعاع اسم مقياس الجرعة. يزود مقياس الجرعة قياس الكمية الإجمالية من الإشعاع الوارد لجهاز مقياس الجرعة خلال الوقت المقاس، لكن يجب أن يتم ارتداؤه خلال التعرض. سوف

obeikandl.com

لن يقيس مقياس الجرعة الإشعاع الوارد للشخص إذا لم يتم ارتداء الجهاز من قبل الشخص خلال التعرض. قد يتألف مقياس الجرعة من شارة فيلم صغيرة تزداد فيها الضبابية خلال عملية امتصاص الإشعاع. يمكن قياسه كثافة الضباب هذه وربطها بجرعات إشعاع معروفة لفيلم مشابه موضوع في بيئة مراقبة. تقدم شارات الأفلام تسجيلاً دائماً للتعرض الإشعاعي. وفي الحقيقة، فإن الفحص الدقيق للفيلم قد يقدم دليلاً على التلوث أو يدل على اتجاه التعرض. تعاني شارات الأفلام من الضباب بسبب الرطوبة والحرارة. تجمع عادة هذه الشارات بعد شهر واحد فقط من ارتدائها (أو من تعرض مفرد لحادث ما). يجب إرسال الفيلم للمختبر قبل تحديد المقدار. تعتبر شارات الأفلام مناسبة لمراقبة المقادير الإشعاعية الواردة من إشعاعات البروتون وإشعاعات بيتا. وهي مثالية للعمال الذين يعملون في حقول أشعة X. هناك نوع آخر من مقياس الجرعة هو مقياس الجرعة القلمي الذي يستخدم تضاؤل شحنة كهربائية ناتجة عن **تأين** محرض بالإشعاع. يثبت خيط متحرك في أنبوب أجوف. توضع شحنة كهربائية ساكنة في جدار الحجرة وعلى الخيط مسببة طرد الخيط اتجاه مركز الأنبوب. عندما يسبب الإشعاع تضاؤل الشحنة فإن الخيط يسقط باتجاه الجدار. إن مسير الخيط تجاه الجدار يتم قياسه وهو يتناسب طرداً مع كمية الإشعاع. إن القراءة من مقياس الجرعة القلمي متوفرة مباشرة ولذلك يمكن استخدامه في التخفيف من التعرض العام أو في حالات عندما يكون العمال معرضين لتدفق إشعاعي عالٍ جداً. إن مقياس الجرعة القلمي حساس للصدمة وسوف يعطي قراءات خاطئة إذا تعرض للسقوط. ولهذا السبب فإن شارات الأفلام تستخدم غالباً بالتزامن مع مقياس الجرعة القلمي. نوع ثالث من مقياس الجرعة والذي يحل محل كل من مقياس الجرعة القلمي ومقياس الجرعة ذي شارة الإشعاع هو مقياس الجرعة المتألق الحراري (TLD). هو آخر ما توصل إليه من مقاييس الجرعة وهو أكثر تطوراً ويتألف من رقاقة صغيرة من بلورات فلوريد

الليثيوم. إن الفكرة وراء مقياس الجرعة TLD هو أن بلورات فلوريد الليثيوم تطلق الضوء بكمية تتناسب مع كمية الإشعاع المصطدمة. عندما تثار هذه البلورات بالإشعاع فإن بعض الإلكترونات ترتفع لمستوى طاقة عالٍ وتبقى في ذلك المستوى حتى تسخن. يتم إدخال مقاييس TLD إلى مستخدمي الشارات المحتوية على فلاتر لتساعد في تحديد نوع وطاقة الإشعاع المتأين التي تعرضت له الشارة. عندما تسخن رقاقة مقياس TLD تعود الإلكترونات للحالة الأساسية وتطلق طاقة على شكل ضوء. يسخن قارئ مقياس الجرعة TLD ويقرأ الضوء الناتج المنبعث خلال العملية الواحدة. ثم تعود الإلكترونات لحالتها الأساسية ومن ثم تكون رقاقة TLD جاهزة للاستخدام مرة ثانية. إن هذا القارئ قابل للحمل ويمكن بسهولة إجراء القياسات في الحقل. إن مقاييس TLD حساسة لغاية يمكنها أن تقيس حتى مقدار ١٠ ميلي رم m.rem. ولديها فترة حفظ طويلة قبل البيع ويمكن ارتداؤها لفترة تصل حتى ثلاثة أشهر. بالإضافة لهذه الصفات فإن أجهزة TLD لا تتأثر نسبياً بالخزن طويل الأمد أو التعرض للضوء ولا تعاني من تأثيرات خطيرة نتيجة ارتفاع درجة الحرارة أو الرطوبة المحيطة. إن العيب الرئيسي لنظام TLD هو أنه حالما يتم قراءة الرقاقة فإن المعلومات تنمحي ولا يوجد هناك سجل دائم للشخص المتعرض. إن شارات TLD هي مناسبة لقياس الجرعات الناجمة عن إشعاع الفوتون وإشعاع بيتا. إن شارات TLD هي مثالية لمراقبة العمال الذين يعملون في المصادر الإشعاعية المغلقة أو المفتوحة. إن طرف شاشة مقياس TLD مركب من مادة بلاستيكية شفافة تنزلق بسهولة في أصابع مرتديها. يتم ارتداؤها تحت قفازات رقيقة يفضل أن تكون من اللاتكس الرخو أو قفازات الفينيل للوقاية من التلوث. إنها قادرة على كشف إشعاع بيتا منخفض الطاقة. تقيس هذه الأجهزة مقدار الإشعاع الوارد إلى نهايات أطراف العامل وهي مثالية للأشخاص الذين يتعاملون مع المصادر أو المحاليل المشعة.

قياس الجرعات الحيوية Biological Dosimetry

إن تأثيرات الإشعاع على الحيوانات والبشر تم توثيقها جيداً من خبرتنا بعد القنابل النووية في هيروشيما وناكازاكي وبعد الحوادث الإشعاعية النادرة وبشكل خاص بعد الخبرة في حادثة مفاعل تشرنوبيل. هذه التأثيرات الحيوية تشكل مقياس الجرعة الحيوية الخام. إن الدليل السريري الهام والمبكر على الأذية الإشعاعية هو تعداد الكريات البيضاء اللمفاوية، فكلما زاد مقدار الإشعاع الممتص زاد حجم وسرعة نضوب اللمفاويات، فإذا كان المريض لديه تعداد كريات بيضاء لمفاوية أقل من ٥٠٠ في السم^{٣} بعد ٤٨ ساعة فإن الإنذار يكون سيئاً. إذا كان تعداد اللمفاويات فوق ١٢٠٠ في سم^{٣} فإن فرص النجاة تكون ممتازة. إن تعدادات أقل من ذلك بعد ٤٨ ساعة تدل على تعرضات خطيرة أكبر. احمرار الجلد المماثل لحروق الشمس يمكن أيضاً أن يكون دليلاً على مقياس الجرعة الحيوي. كمية الاحمرار قد تكون غير دقيقة لأنها تختلف بشكل أساسي حسب نوعية الإشعاع، فالاحمرار الذي يحدث خلال دقائق إلى ساعات بعد التعرض لأشعة غاما يدل على حصول تعرض خطير ومن المحتمل حدوث تأذٍّ جهازي. يمكن أيضاً أن تخدم الأعراض الهضمية، مثل الغثيان والإقياء، كدليل على مقادير الجرعة الحيوية. تختلف شدة الأعراض بشكل كبير من شخص لآخر ولذلك تعد غير مفيدة بشكل خاص. إن وقت ظهور الأعراض مفيد أكثر، فالظهور المبكر للحرارة أو الإسهال أو نقص مستوى الوعي أو هبوط الضغط يترافق مع جرعات مفرطة. يدل غياب الأعراض المعدية المعوية ضمناً على تعرض ضئيل.

تدبير التعرض للإشعاع
Management of Radiation Exposure

التبليغ Notification

على الرغم من كون المرضى المتعرضين للإشعاع أو زملائهم في العمل قد يقومون بتبليغ كل التفاصيل لمراسل الخدمات الطبية أو فيزيائي شركة الإشعاع أو المشفى، فإنه من الإلزامي تبليغ المشفى بشكل مسبق قدر الإمكان. معظم الحالات التي تشاهد من قبل المسعفين، يجب إبلاغ أقرب مشفى لديها خطة مطورة جيداً لإسعافات الإشعاع. على كل حال، يجب تفعيل هذه الخطة. يجب على الطاقم المستجيب للمشهد أن يجمع معلومات أكثر بقدر الإمكان ليضمن التبليغ الفوري والمناسب لكل من سلطات المشفى وسلطات الولاية. إن مسؤولية تبليغ الولاية والسلطات الفيدرالية يجب أن توكل لكل الفرق المستجيبة للمواد الخطرة والمشافي والمختبرات النووية. هناك نقطة هامة يجب ملاحظتها من قبل جميع العاملين الطبيين وهي أنه إذا كان العامل المسبب معروفاً، مثل محطة طاقة، مرافق معالجة النظائر المشعة، أو المختبرات النووية، فإن العاملين بالنظائر المشعة غالباً ما يعرفون طبيعة التعرض أكثر من مقدمي خدمات الإسعاف. إن الإرشادات المعطاة من قبل هؤلاء العمال النوويين (حتى ولو كانوا مرضى) قد تحد بشكل جيد من انتشار الملوثات، وتنقص امتصاص النظائر المشعة، أو تحد من التعرض لجميع الأشخاص ذات العلاقة بذلك. هذا المصدر من المعلومات والإرشاد يجب ألا يهمل.

الاستجابة الأولية

إن السؤال الأول الذي يجب أن يجيب عليه مقدم الخدمة الإسعافية في الحقل هو هل التعرض مستمر؟ إذا كان الجواب نعم، فإنه يجب تأكيد معدل التعرض، ويجب حساب وقت التعرض المحتمل المناسب لعمال الإنقاذ قبل الدخول إلى منطقة

التعرض. إذا كان مصدر التعرض جهاز المعالجة بالكوبالت المشع ٦٠ أو جهازا لتعقيم فإن تغطية المصدر بواقٍ يوقف تعرض المزيد من الإشعاع بالنسبة للجميع. إذا كان مصدر التعرض جهاز أشعة X فإن سحب الطاقة سوف يوقف إنتاج الإشعاع. في جميع الحالات يجب القيام بما يلي :

- تأمين حماية المنطقة لعمال الإنقاذ والمارة على السواء.
- الحد من تعرض المزيد للمواد الخطرة.
- تقديم العناية الإسعافية المنقذة للحياة.
- كبح انتشار المواد الخطرة.

الجدول رقم (١٤-٦). يلخص التدبير العام للتعرض للإشعاع.

عالج مهددات الحياة التقليدية أولاً.
عالج الاضطرابات في السوائل والشوارد عند الحاجة.
استخدم مضادات الإقياء لمعالجة الغثيان والإقياء بحرية.
الحفاظ على التدابير الوقائية للأمراض الإنتانية، هذا غير ضروري عند الاستجابة في الحقل، لكن يجب أخذه بالاعتبار حالاً بعد دخول المريض إلى المشفى.
التفكير في استخدام مضادات الفيروسات للوقاية، لكن هذا أيضاً غير ضروري في الحقل، لكنه ضروري فور دخول المريض إلى المشفى.
التفكير في استشارة الأخصائي المناسب مبكراً.

إذا كان مصدر الإشعاع منتشراً من حادث إرهابي، فإن الأمر يتطلب إخلاء المنطقة. يجب تأمين حماية المنطقة ويجب احتجاز المصابين السائرين في منطقة آمنة. كما يجب تأمين مدخل للرقابة للمنطقة. يجب أن تكون الأولوية لدى عامل الإنقاذ سلامته الشخصية. إذا كان مصدر الإشعاع مستمراً وأصبح العامل المنقذ الإسعافي معرضاً بشكل خطير، فإنه يصبح مريضاً وليس منقذاً. بعد توقف التعرض للإشعاع أو تم

إعداد وقت تعرض محتمل فإن السؤال التالي الذي يجب الإجابة عليه هو: هل كان التعرض إشعاعياً أم تلوثياً (دمج الاثنين)؟ يمكن تدبير الحوادث الإشعاعية بشكل أفضل إذا تم فصل المرضى إلى ثلاث مجموعات:

١- المرضى المتعرضون للإشعاع من الخارج.

٢- المرضى الملوثون بالإشعاع من الخارج.

٣- المرضى الملوثون بالإشعاع من الداخل (احتمال الدمج).

يشكل المريض الملوث بالمواد المشعة خطراً مستمراً تجاه الفريق الطبي، لأن هذا التلوث يمكن أن يغسل أو يفرشى أو يحك إلى الفريق الطبي. بينما المرضى المعرضون للإشعاع لا يشكلون خطراً على الفريق الطبي. المرضى الملوثون داخلياً بالمواد المشعة قد لا يشكلون خطراً على الفريق الطبي أو قد يكون لديهم تلوث مميت.

إنه من الضروري قياس نوع وكمية النشاط الإشعاعي الملوث. إذا لم يتم بالإمكان وضع الواقي أو إزالة المصدر المشع فإنه عندئذ يجب حساب أوقات التعرض الإشعاعي المسموح به. إن الحاجة لتحديد أوقات التعرض الآمن دفع المشافي لتعيين أخصائي أشعة أو أخصائي معالج شعاعي كطبيب رئيسي عند التعامل مع حوادث المصادر الإشعاعية. المرافق الصحية الحاوية على وحدة معالجة شعاعية من المحتمل أن يكون بين طاقمها أخصائي صحي فيزيائي (إشعاع)، بينما يجب أن يكون لدى جميع المرافق الحاصلة على ترخيص الهيئة التنظيمية النووية ضابط مراقبة الإشعاع. ويمكن أن يكون أحد هذين الشخصين قادراً على تزويد النصيحة الملموسة حول تدبير مصادر الإشعاع. إذا كان الحادث ناتجاً عن تشعيع مَحض، فإن تعيين أخصائي الأشعة أو طبيب الطب النووي كطبيب مسؤول قد يكون مناسباً. لسوء الحظ، بخلاف موضوع التدريب، فإن هؤلاء الأطباء قد يكون لديهم خبرة عملية قليلة فيما يتعلق بتدبير المواد المشعة أو حسابات مقادير الإشعاع الممتصة. يدرك القليل من الأخصائيين الشعاعيين

القيود وظروف البيئة الحقلية. عندما يتضمن الحدث انفجاراً أو رضوضاً أو حروقاً فإن الأخصائي الشعاعي قد يكون طبيباً غير مناسب لتنسيق جميع النشاطات. على كل حال، ينصح طبيب الطوارئ أو الجراح العام الذي يقوم بمعالجة المريض المصاب بالرضوض والملوث بالإشعاع بطلب المساعدة من الأطباء المتدربين في معالجة مصادر الإشعاع.

التشعيع Irradiation

يحدث التشعيع إما من أشعة X أو النيترونات أو أشعة غاما أو بكميات أقل من جزيئات بيتا. تحدث الإشعاعات النافذة تخرباً فقط في جزء من الجسم المعرض. معظم الأذيات والوفيات الحادثة من الإشعاع هي من نفس هذا الطابع. نموذجياً، يكون المريض قد عمل في منطقة الأشعة ويعلم أنه قد تعرض لمصدر أشعة X، أو جهاز تعقيم إشعاعي أو من مصدر شعاعي ما. إن تقييم التخريب الحاصل وتحديد المعالجة قد يكون أكثر صعوبة من التشخيص الأولي أو تحديد طبيعة الأذية. على كل حال، هناك في بعض الأحيان استثناءات عندما يكون التشخيص غير واضح. فقد سجلت أعراض شبيهة بالأنفلونزا، الغثيان، الإقياء، الحروق الجلدية، التقرحات، وتثبيط نقي العظم دون وجود قصة تعرض إشعاعي أو لم يشك بوجوده فوراً. قد يشكل ذلك تشخيصاً تفريقياً صعباً جداً عندما يكون التعرض الإشعاعي قد حصل منذ أيام أو أسابيع سابقة والمريض لا يفكر بهذا الحادث إطلاقاً، كما يحصل ذلك في بعض مشاهد الإرهاب. يجب التأكيد على أن الشخص المعرض للإشعاع يعادل إصابة الحرق. وكما هو الحال تماماً عند الشخص المصاب بحرق حراري حيث لا يصدر حرارة كذلك فإن الشخص المصاب بالإشعاع لا يصدر النشاط الإشعاعي، فالخلايا تتخرب أو تموت ويبقى الشخص غير نشط إشعاعياً. لا يتوهج الشخص في الظلام. عموماً لا يشكل الشخص المصاب بالإشعاع خطراً على الفريق الطبي. الاستثناء الوحيد لهذه القاعدة هو

الشخص المعرض لمستويات عالية استثنائية من إشعاع النيترونات. يمكن أن يؤدي إشعاع النيترون لنشاط إشعاعي ثانوي في أماكن مثل الحشوات والبدائل الاصطناعية. على كل حال، التعرض لهذا المستوى من الإشعاع النيتروني نادر جداً، والإشعاع الناتج ليس خطراً على الفريق الطبي.

الوقاية من الإشعاع Protection From Irradiation

تدور وقاية الطاقم الطبي العامل في مكان إشعاعي متواصل حول ثلاثة عوامل: المدة، والمسافة، والدفاعات (الواقي).

المدة: يمكن مراقبة مدة التعرض بعناية لنضمن أن كل شخص مستجيب للمشهد الإشعاعي لم يستلم إشعاعاً خطيراً. في هذه الطريقة، إن المستجيب الأول يمكن أن يحمل جزءاً من المعدات إلى المدخل ومن ثم يتراجع بعد ذلك إلى الوراء. المستجيب التالي قد يحمل المعدات بشكل أبعد داخل البناء ومن ثم يتراجع وهكذا. بهذه الطريقة لن يتعرض أي مستجيب لمستوى خطير من الإشعاع، في حين أنه إذا كان على مستجيب وحيد أن ينجز كل المهمة فإن الحدود الحياتية أو السنوية لمستوى الإشعاع لهذا المستجيب قد تكون تجاوزت الحدود.

المسافة: يتناقص التعرض للإشعاع طرداً مع مربع المسافة من مصدر الإشعاع. إن قانون المربع المعكوس يعني أن مضاعفة المسافة ينقص الإشعاع إلى الربع من الشدة الأصلية. يمكن إبعاد الطاقم المعرض من المنطقة بعيداً ومنه فإن قانون المربع المعكوس سيقدم الوقاية.

الدفاعات: الوسائل الدفاعية، مثل الواقيات الرصاصية، يمكن استعمالها من قبل أولئك الأشخاص الذين يتوجب عليهم دخول المنطقة لإجراء مهمة تقنية. قد تسمح هذه الوسائل الدفاعية للجراح أن يجري عملية البتر أو تسمح للفني بالقيام بخفض مصدر الإشعاع عالي الشدة عن طريق استخدام واقٍ جيد. إن ارتداء المآزر

الرصاصية والواقيات للغدة الدرقية والتي تستعمل عادة خلال الإجراءات الشعاعية لأشعة X يمكن أن يقدم حماية هامة. توجد طرق الوقاية من الإشعاع المتواصل في الجدول رقم (١٤-٧).

الجدول رقم (١٤-٧). الوقاية من الإشعاع المتواصل.

المدة: حافظ على مدة التعرض لأقل حدود ممكنة.
المسافة: مضاعفة المسافة بينك وبين المصدر المشع ينقص التعرض إلى ربع التعرض الأصلي.
الدفاعات: استخدام الواقي يمكن أن يُضعف الإشعاع بشكل كبير.

آلية التخريب Mechanism of Damage

تحدث الأذية في النسج الحية من جراء نقل الطاقة إلى الذرات والجزيئات في التركيب الخلوي للنسيج. يمكن للإشعاع أن يؤدي إلى ما يلي:

- إنتاج الجذور الحرة free radicals.
- كسر الروابط الكيميائية.
- إنتاج روابط كيميائية جديدة.
- جزيئات رابطية.
- تخريب الجزيئات التي تنظم العمليات الخلوية الحيوية (مثل DNA، RNA ، والبروتينات). تستطيع الخلية إصلاح بعض التخريب الخلوي، ففي المقادير المنخفضة من الإشعاع، مثل ذلك الوارد من الإشعاع المحيط، يكون التخريب الخلوي ضئيلاً ويتم إصلاحه بسرعة. وفي المستويات الإشعاعية الأعلى من ذلك، فإن كثيراً من الخلايا ستموت. أما في المستويات الإشعاعية العالية جداً، تتموت الكثير من الخلايا، ولا يمكن الاستعاضة عن هذه الخلايا بالسرعة الكافية، مما يسبب فشل عمل الأنسجة

وحدوث الأمراض الخطيرة أو الوفيات. إن التغيير الحاصل في المادة الصبغية الخلوية قد لا يسبب تغيراً مرئياً في المظهر الخلوي، لكنه قد يسبب طفرة قد تستطيع أو لا تستطيع العبور إلى السلالات القادمة من الخلايا. وقد يؤدي هذا إلى التسرطن أو قصر الحياة اللانوعي. بالاعتماد على نوع الخلية المصابة، فإن هذه الطفرة قد تعبر للذرية. مما يؤدي إلى زيادة احتمال حصول التشوهات في الذرية. عموماً، إن حساسية الأنسجة للإشعاع تتناسب طرداً مع معدل تكاثر خلاياها وتتناسب عكساً مع درجة تميز الخلية. هذا يعني أن الجنين المتطور يكون حساساً أكثر للإشعاع خلال المراحل المبكرة من التطور. (يعتبر الجنين حساساً للتعرض للإشعاع خلال الثلث الأول من الحمل أكثر من الثلثين التاليين للحمل). توضيحاً لحساسية الخلية للإشعاع، يظهر الجدول رقم (١٤-٨) النسج والأعضاء بدءاً من الحساسية الدنيا إلى الحساسية العظمى. الأجهزة ذات التأثر الأولي هي الأجهزة التي تمتلك أنسجة ذات توالد خلوي عالٍ. قد تحدث التأثيرات المشاهدة بشكل سريع في التعرض الهائل للإشعاع أو قد تحدث بعد أسبوع إلى ثلاثة أسابيع من التعرض للإشعاع.

متلازمة الإشعاع الحادة Acute Radiation Syndrome

تصف متلازمة الإشعاع الحادة نموذجاً مرضياً ينشأ من تعرض إشعاعي لكامل الجسم. تنتج المقادير الكبيرة من الإشعاع النافذ بغض النظرعن مصدره نموذجاً مرضياً متوقعاً. هناك أربع مراحل لهذا المرض: الدور الطليعي، المرحلة الكامنة، المرض الصريح، والشفاء أو الموت. تتوازى شدة وسرعة التطور خلال هذه المراحل مع مقدار الإشعاع الوارد.

الجدول رقم (١٤–٨). حساسية الأعضاء للأشعة لمختلف أنواع الأنسجة.

الأقل حساسية كريات الدم الحمراء الناضجة
↓ خلايا الكبد
خلايا الأعصاب
خلايا الغدة النخامية
خلايا الغدة الدرقية
خلايا العضل
خلايا العظم والغضروف
بشرة الجلد
القرنية
ظهارة الغشاء المخاطي الصدفية(الأمعاء والفم)*
الأنابيب الكلوية
خلايا نسيج الرئة
عدسات العين
↓ الخلايا المولدة للمناسل
خلايا نقي العظم*
الأكثر حساسية الخلايا اللمفاوية*

*هذه الأنسجة تمتلك أعضاء مولدة للدم والخلايا المبطنة للأمعاء.

المرحلة الطليعية

ينجم الطور الطليعي عن التموت الخلوي المباشر وخلل الوظيفة الخلوية. تتضمن الأعراض الغثيان والإقياء والإسهال والتعب والوهن. في المقادير العالية من التعرض الشعاعي، قد يحدث لدى المريض انهيار وحرارة وشدة تنفسية. وقد يحصل في بعض المرضى فرط هياج. تتلاشى الأعراض الطليعية المعدية المعوية عادة خلال ٤٨

obeikandl.com

ساعة بالنسبة للمرضى الذين تعرضوا لإشعاع قابل للنجاة. وقد يخدم هذا كمقياس جرعة حيوي سريري للتعرضات القابلة للنجاة.

المرحلة الكامنة

بعد انصراف المرحلة الطليعية قد تحدث عند بعض المرضى فترة من التحسن النسبي وذلك في التعرض الهام. وهذا يعكس تعويض الجسم عن الخلل الوظيفي الخلوي المباشر. في هذه النقطة، إن نضوب طلائع الخلايا وموت النسج ذات التكاثر العالي، مثل الخلايا المبطنة للأمعاء، لم يحدث بعد. تتناسب مدة المرحلة الكامنة عكسياً مع مقدار الإشعاع الكلي، فالتعرض الإشعاعي العالي سيحدث فترة كامنة قصيرة. وفي التعرضات الضخمة وعند حدوث فشل الجهاز العصبي المركزي قد لا يكون هناك فترة كامنة على الإطلاق. يمكن معالجة معظم المرضى في الطور الكامن ومتابعتهم كمرضى خارجيين.

المرض الصريح

عندما تنضب الخلايا ذات الحياة القصيرة ويحدث فشل في إعادة تولد الأنسجة، يتطور عند المريض بشكل سريع مرض الإشعاع الصريح. وتحدث المتلازمة المكونة للدم بأقل مقدار إشعاعي منخفض وهي ستحدث أيضاً في كل التعرضات العالية. ويعد الإنتان الصاعق المصاحب لنضوب الكريات البيضاء المعتدلة سبباً رئيسياً للوفاة في جميع التعرضات الإشعاعية الهامة.

الشفاء أو الموت

بعد المرض السريري الواضح إما أن يموت المريض أو يشفى. تزيد العناية المناسبة والمكثفة بشكل واضح من نسبة الناجين من تعرضات الإشعاع متوسطة الشدة. في حالة الحادث الإرهابي قد تتوفر فقط العناية الأساسية للأغلبية العظمى من المرضى.

متلازمات الإشعاع السريرية Clinical Radiation Syndromes

التعرض الخفيف

يصنف التعرض الخفيف للإشعاع على أنه تعرض أقل من ١**غري** (Gy). المريض المتعرض لإشعاع خفيف (المريض المتعرض لأقل من ١٢٥ راد لكل الجسم) يتطلب عموماً التطمين فقط بأنه ليس هناك تأثيرات خطيرة متوقعة. يكون تعداد الكريات الدم البيضاء والحمراء منخفضة في معظم الأشخاص الذين تعرضوا لأكثر من ٢٥ راد. يشكل الغثيان مشكلة لحوالي ٥٪ إلى ١٠٪ من الأشخاص الذين تعرضوا لأكثر من ٥٠ راد. وتزداد هذه النسبة المئوية مع زيادة الكميات المتعرضة. لن يدوم عادة الغثيان والإقياء أكثر من ٤٨ ساعة. يعاني ١٠ ٪ من السكان المعرضين للإشعاع من سقوط شعر عابر بعد التعرض لـ ١٠٠ إلى ٢٠٠ راد. إن الكريات البيضاء اللمفاوية هي أكثر الخلايا حساسية لتأثيرات الإشعاع، حيث تلاحظ التغيرات خلال بضع ساعات بعد التعرض. يهبط تعداد الكريات البيضاء اللمفاوية بسرعة إلى حوالي ٦٠٪ من الحجم الأصلي في الدوران ويتعافى ذلك ببطء خلال الستة أشهر اللاحقة. يهبط تعداد الكريات البيضاء المعتدلة neutrophils إلى حوالي ٧٠٪ من حجمها الأصلي خلال ٤٥ يوماً بعد التعرض. يتعافى تعداد الكريات البيضاء المعتدلة بشكل بطيء خلال شهور قليلة لاحقة. تنقص أيضاً الصفيحات الدموية إلى حوالي ٦٠٪ من الحجم الأصلي في الدوران. يحدث النضوب الشديد بعد حوالي ٣٠ يوماً بعد التعرض. ورغم هذه الانخفاضات، عند التعرض لـ١٠ راد فقط، فإن المريض لا يبدي أي زيادة في نسبة حدوث الالتهاب أو النزف. يجب إخبار المريض أن هذا المقدار قد يزيد نسبة الخطورة في تشكل السرطان أو ابيضاض الدم بشكل ضئيل. لا يوجد هناك وسيلة وقائية مبكرة معروفة تستطيع أن تقضي على هذه الزيادة البسيطة في خطورة التأثيرات المتأخرة (السرطان وابيضاض الدم) مع أي تعرض هام للإشعاع. يجب نصح الرجال باستخدام

شكل من موانع الحمل لمدة ستة شهور بعد التعرض لتجنب التشوهات الخلقية المحتملة إذا ما حصل الحمل خلال هذه الفترة. وبعد هذه المدة لا داعي لهذه الاحتياطات. هذه الإجراءات ليست ضرورية للإناث لأن البيوض لا تصاب بنفس الطريقة التي تصاب بها النطاف.

التعرض المتوسط

متلازمة نقي العظم المولد للدم التعرض المتوسط هو تعرض إشعاعي بمقدار ١إلى٤ غري (Gy). من المحتمل أن يكون إعطاء المعالجة فعالا لهذا المستوى من التعرض. إن التعرض في حدود ١٠٠–٤٠٠ رم rem سيؤدي إلى أعراض الغثيان والإقياء وغالباً الإسهال. بعد تعرض متوسط الشدة يحدث تثبيط لنقي العظم، غالباً ما يكون كاملاً، وظهور نضوب المعتدلات لاحقاً، ونضوب اللمفاويات، ونقص في الصفيحات الدموية. قد يبدأ حصول نقص في عدد اللمفاويات مباشرة بعد ثلاث ساعات من التعرض. قد يحصل النزف بسبب نقص الصفيحات الدموية ولكن غالباً ما تسيطر الإنتانات على المشهد. سيحتاج المرضى المتعرضين لمقدار متوسط من الإشعاع إلى مراقبة طبية ومن المحتمل لمعالجة فعالة. بدون العلاج الطبي المناسب فإن ٥٪ إلى ٥٠٪ من المتعرضين لمقدار ٢٠٠–٤٠٠ راد سوف يموتون خلال ٦٠ يوماً. ويكون وقت الخطر الأكبر خلال فترة تثبيط نقي العظم، التي تحدث خلال ٣–٤ أسابيع بعد التعرض. المشكلة، بكل بساطة، هي إمكانية الحفاظ على المريض المتعرض حياً لمدة ٥–٦ أسابيع حتى يبدأ نقي العظم بالشفاء. بعد التعرض الحاد لمقدار ٢٠٠ راد، تكون الردود الدموية لهذا التعرض الإشعاعي أكثر عمقاً. يبدأ أولاً هبوط تعداد اللمفاويات ويمكن أن يصل النقص حتى ٤٠٪ من التعداد الأصلي خلال بضعة أيام. كذلك أيضاً ينقص تعداد الكريات البيضاء المعتدلة إلى حوالي ٦٠٪ من المستوى الأصلي في حوالي ٤٥ يوماً. هناك زيادة بسيطة في عدد المعتدلات خلال ٢–٣ أيام بعد التعرض وبعد

حوالي أسبوعين من التعرض. يستمر هبوط الصفيحات الدموية خلال ٣٠ يوماً بعد التعرض ليصل إلى حوالي ٣٠٪ من التعداد الأصلي. وعلى الرغم من نقص المعتدلات، ونقص اللمفاويات، ونقص الصفيحات الدموية، فإنه عادة لا توجد علامات نزف أو إنتان في التعرض المتوسط الشدة. تقع الاحتياجات العلاجية لهؤلاء المرضى في ثلاث مجموعات:

– **السيطرة على العدوى infection**: يجب حماية المريض من العدوى الخارجية وعدوى المشافي خلال الأسابيع الخمسة الأولى. إن استخدام العزل الصارم أو بيئة غرف نظيفة، واستعمال المضادات الحيوية المناسبة، والاستعمال المحتمل للغلوبيولينات المناعية كلها معالجات مطلوبة إذا توفرت.

– **السيطرة على النزف**: يجب البدء باستخدام الدم، والصفيحات الدموية، ومنتجات الدم عند الحاجة للسيطرة على اعتلالات النزف. يجب وقاية المريض من الرضوض، بالطبع.

– **العلاج الداعم**: يجب تقديم الدعم النفسي، والراحة، والقيام بالاستشارة حول التأثيرات الوراثية والشخصية للمقدار المتلقى. لا يمكن التأكيد أكثر من ذلك على ضرورة الاستشارة لكل من الفيزيائي الصحي، أو أخصائي الأشعة، أو فنيي العلاج الشعاعي الذين قد تلقوا تماماً المقدار الإجمالي من التعرض الحياتي وأن يطلبوا عملاً جديداً. إضافة لذلك، قد يكون لدى المريض جرح مرافق سيئ الشفاء واستجابة رديئة للصدمة. كما هو الحال تماماً في الحروق المعقدة التي تعالج بشكل أفضل من قبل فريق الحروق، فإن المسار المعقد للمريض المتعرض بشدة للإشعاع يعالج بشكل أفضل من قبل فريق إصابات الإشعاع. إن العناية الطويلة الأمد لهؤلاء المرضى تقع، بشكل مناسب تماماً، خارج نطاق مقدم الإسعاف. على طبيب الطوارئ أن يفكر في استشارة الأخصائيين المناسبين مبكراً خلال تدبير هؤلاء المرضى. لحسن الحظ، توجد فترة أسبوع

تقريباً من أجل ترتيب الاستشارات الخاصة والنصح حول خدمات المشفى المطلوبة. قد تساعد عوامل النمو G-CSF وGM-CSF على الحفاظ على عمل نقي العظم إذا كانت هناك مناطق من نقي العظم ما تزال حية.

التعرض عالي المستوى

متلازمة الجهاز الهضمي يعتبر التعرض لمقدار ٤–٨ Gy تعرضاً عالي الشدة. يتطلب هؤلاء المرضى جهود إنقاذ حياة قصوى. إن التعرض لمجال ٤٠٠–١٠٠٠ رم سيحدث كلاً من التأثيرات الدموية والهضمية. إن التعرض لمقدار ٥٠٠ راد من إشعاع الجسم الكلي الحاد هو تقريباً LD_{50} لحياة ٦٠ يوماً. يتميز الطور المبكر لوعكة المريض بغثيان شديد ومستمر، وإسهال، وإقياء. وقد يلاحظ أحياناً حدوث النزف الهضمي. يتأثر كل من الحركة المعوية، وتحرك السوائل، وتوازن الشوارد بمكون الجهاز الهضمي. وبينما ينحسر الغثيان، وتبدأ بالظهور التأثيرات الدموية العميقة. بعد التعرض الإشعاعي عالي المستوى يتثبط نقي العظم بشكل كامل، غالباً مع نقص المعتدلات المبكر، ونقص اللمفاويات، ونقص الصفيحات الدموية. كما هو دائماً، فإن استجابة اللمفاويات تحدث أولا، بانخفاض يصل إلى ٢٠٪ من الطبيعي الذي يحصل خلال الأيام القليلة الأولى. وقد سجلت استجابة المعتدلات ثنائية الطور، بمقدار ٢٠٠ راد، يحدث أيضاً، لكن يكون بشكل مبالغ فيه كثيراً. يصل تعداد جميع مكونات الدم الثلاثة الحدود الدنيا خلال أربعة أسابيع تقريباً بعد التعرض. إن جميع المتطلبات العلاجية والمخاوف السابقة الذكر فيما يتعلق بالإنتان والنزف في التعرض المتوسط الشدة للمريض هي إلزامية في المرضى المتعرضين لنسبة عالية من الإشعاع. إن استخدام الغرف النظيفة أو الغرف ذات تدفق الهواء بالمصافي الرقائقية هو أيضاً إلزامي. يجب أن تتضمن المعالجة العناية الدقيقة بتوازن السوائل والشوارد في مواجهة الغثيان والإقياء. وتبقى الوقاية من الإنتان أهم شيء. قد تتضمن الجهود البطولية لإنقاذ حياة المريض في

التعرضات المنذرة بالموت أو قرب الموت (٥٠٠-١٠٠٠- راد) إجراء زرع نقي العظم خلال العشرة أيام الأولى بعد التعرض، حيث تقع هذه الفترة تقريباً قبل أسبوعين من الوقت الذي يتوقع فيه حدوث التثبيط الأقصى لنقي العظم. في التعرض لمقدار ٤ Gy، فإن ٥٠٪ من جميع المرضى غير المعالجين سوف يموتون. في التعرض لمقدار ٦ Gy، فإن الجميع سوف يموت.

التعرض العالي المستوى جداً

متلازمة الجهاز العصبي المركزي يعتبر التعرض العالي المستوى جداً هو التعرض الذي يزيد عن ١٠غري. في هذه الحالة فإنه من المحتمل حدوث الموت. هناك مجموعة من الأعراض فورية الحدوث وتتضمن التخليط الذهني، والغثيان، والاقياء، والإسهال، والصدمة التي تُحدث في التعرضات التي تزيد عن ١٠٠٠ راد. بينما قد يحدث الغثيان والاقياء خلال دقائق. يرتفع تعداد المعتدلات بشكل سريع ومن ثم يهبط بشكل سريع أيضاً لأقل من ١٠٠ خلال ٢٤ ساعة. يصل عدد اللمفاويات إلى الصفر خلال ٢٤ ساعة. قد تحدث مثل هذه المقادير الكبيرة من الإشعاع تدهوراً حاداً في الجهاز العصبي المركزي والجهاز القلبي الوعائي. لقد ظن سابقاً أن التأثيرات التي تصيب الجهاز العصبي المركزي مسوؤلة عن معظم الوفيات السريعة الحدوث، لكن التجربة الأخيرة أظهرت أن التدهور في الجهاز القلبي الوعائي قد يكون سريعاً أيضاً بعد التعرض لهذه المقادير فائقة القدرة على القتل. إن التدهور السريع في الجهازين العصبي والقلبي الوعائي هو أساس فعالية ما يدعى القنبلة النيترونية. إن القنبلة النيترونية جهاز نووي حراري مضاد للأشخاص قليل العائد مصمم لتوليد كميات قصوى من النيترونات عالية الطاقة مع أذية بسيطة من الانفجار والغبار الذري المتساقط.[١١] في حال حدوث إشعاع كامل الجسم بمقدار ١٠٠٠ راد فإن نقي العظم يتخرب بشكل غير عكوس. يهبط عدد اللمفاويات إلى الصفر خلال ٥ أيام بعد التعرض. يهبط عدد

المعتدلات إلى الصفر بعد حوالي ١٠ أيام من التعرض. تصبح الصفيحات الدموية غائبة بعد حوالي ١٥ يوماً من التعرض. لا يبدو أن كريات الدم الحمراء في الدوران تتأثر بشكل ملحوظ بسبب العمر الافتراضي الطويل لخلايا الدم الحمراء. لا يوجد هناك علاج فعال عند هذا المستوى من التعرض. من المؤكد أن حالة هؤلاء المرضى ستتطلب في النهاية علاجاً عرضياً خلال الفترة القصيرة المحتملة (في أكثر الأحوال من ٢–١٠ أيام). تكون المعالجة داعمة وملطفة وتتضمن التهدئة، ومضادات الغثيان، وتعويض السوائل. وتبقى زراعة نقي العظم خياراً علاجياً. إن مقادير الإشعاع القصوى القابلة للحياة قد تكون أعلى بكثير مع المعالجة الحديثة، وإذا كان هناك حتى فرصة بعيدة للنجاح، فإنه يجب إعطاء العلاج المركز. يلخص الجدول رقم (١٤–٩) الأعراض الناجمة عن التعرض الإشعاعي بمستوياته المختلفة.

الجدول رقم (١٤–٩). التصنيفات السريرية للإصابات الإشعاعية.

التصنيف	التعرض*	الأعراض
التعرض الخفيف	أقل من ١٢٥ راد	أعراض ضئيلة أو لا توجد أعراض (قد تسبب تأثيرات طويلة الأمد بعيدة)
التعرض المتوسط	حوالي ٤٠٠ راد	حدوث مرض متوسط إلى شديد الدرجة ناجم عن المتلازمة المكونة للدم (يمكن أن تكون غير قاتلة)
التعرض الشديد	حوالي ٤٠٠–٦٠٠ راد	حدوث مرض شديد ناجم عن متلازمة الجهاز الهضمي (قد تكون مميتة)
التعرض الشديد جداً	حوالي ٦٠٠–١٥٠٠ راد	مميت إلى حد بعيد من ٦٠٠–٨٠٠ راد، مميت بالتأكيد فوق ٨٠٠ راد
التعرض المفرط	أكثر من ١٥٠٠ راد	متلازمة الجهاز العصبي المركزي (مميت بالتأكيد)

* يجب التأكيد على أن قيم الجرعات التقريبية قد تختلف لدرجة حتى ٥٠٪ في الحالة الفردية للمريض.

التعرضات الموضعة Local Exposures

قد يكون التعرض الموضعي لليد في حقل إشعاعي عالي المستوى أكثر حوادث الإشعاع شيوعاً ومشاهدة في قسم طب الطوارئ. غالباً ما تنجم هذه الحوادث عن أجهزة كاميرا أشعة اكس جاما المصدر أو الأجهزة المعقمة. نموذجياً، يقوم الفني بشكل متعمد بكسر احتياطات السلامة (عادة من أجل خدمة الآلة) وبالتالي يعرض نفسه صدفة للخطر ثم يأتي للعلاج. تتناسب كمية وعمق التخريب الحاصل طرداً مع مستوى التعرض. لحسن الحظ، نادراً ما يتعرض هذا الفني لإشعاع كامل الجسم في هذه الطريقة. بما أن الجهاز الهضمي ونقي العظم لم يتعرضا للإشعاع، فإن المريض لا تتطور عنده أعراض إشعاع كامل الجسم. إن تعرض النسج الرخوة للإشعاع له مقاومة أكبر بكثير من الأنسجة المتكاثرة بسرعة. في التعرض لمقدار أقل من ٥٠٠ رم قد يظهر عند المريض احمرار جلدي موضعي. وقد تحصل زيادة قليلة في مستوى حدوث الأورام الموضعية وذلك كاختلاط متأخر، غير أن الاختلاطات المبكرة تكون قليلة. في التعرض لمقادير من حوالي ٢٥٠٠ رم قد يحصل عند المريض زوال شعر موضعي يتلوه قرحة مؤقتة بطيئة الشفاء. ويحدث ضمور الجلد وتوسع الأوعية الشعرية والبهاق الموضعي من ضمن الاختلاطات المتأخرة. في التعرض لمقادير أكثر من ٥٠٠٠ رم في منطقة محددة، تحدث تقرحات دائمة ولوحظت زيادة شديدة في حدوث السرطانات. يؤدي التعرض لمقادير أكثر من ٥٠٠٠٠ رم إلى تخرب كبير في مسار الحزمة الإشعاعية مع حدوث تنخر شديد. معالجة هذه الإصابات محبط للآمال لأن التخريب الوعائي العميق غالباً ما يعيق التطعيم الناجح. يجب أن تبدأ المعالجة المبكرة لهذه الإصابات الموضعية وكأن المريض قد أصيب بحرق جلدي. يجب إجراء الضماد باستخدام مرهم الحروق الشائع مثل سلفاديازين الفضة. مع إحالة هؤلاء المرضى إلى جراح خبير في

المعالجة فيما بعد. إن التأثيرات الجلدية الناجمة عن التعرض الموضعي للإشعاع ملخصة في الجدول رقم (١٤-١٠).

الجدول رقم (١٤-١٠). الآثار الجلدية للتعرض الموضعي للإشعاع.

الجرعة	الآثار المبكرة	الآثار المتأخرة
أقل من ٥٠٠ رم	احمرار الجلد	لا يوجد (قد تسبب زيادة خفيفة في الأورام)
أكثر من ٥٠٠ رم	احمرار الجلد	عادة توجد زيادة خفيفة في الأورام
	زوال الشعر	
٢٥٠٠ رم	التقرحات	ضمور موضعي
		توسع الأوعية الشعرية
٥٠٠٠ رم	زوال الشعر	تصبغات متغيرة
أكثر من ٥٠٠٠٠ رم	التقرحات	تقرحات مزمنة
		تسرطن جوهري

التأثيرات طويلة الأجل Long-Term Effects

تحدث الآثار الطويلة الأجل عادة بعد عدة سنوات من التعرض الحاد أو المزمن للإشعاع وتتضمن:

١- **تطور الأورام**: إن الإشعاع بكميات كبيرة هو عامل مسرطن فعال.

٢- **العقم**: يمكن أن يكون العقم المؤقت بسبب التعرض لمستويات ١٥٠ رم تقريباً. تتأثر الإناث بشكل دائم عادة أكثرمن الذكور.

٣- **الساد**: بسبب الحساسية العالية لعدسات العين فإنه تتطور مناطق ذات كثافة في العدسات وذلك بعد التعرض لمستويات ٢٠٠ إلى ٦٠٠ رم.

٤- **قصر الحياة**: تزداد عملية الهرم. ويبدو أن تغذية الخلية تضطرب. يتناقص العدد الكلي للخلايا، وهناك تعديل في مكون محتوى المواد الخلوية.

obeikandl.com

٥- **التأذي الجنيني**: يعتبر الجنين حساس للأشعة بشدة بسبب الانقسام السريع للخلايا. لم يحدث تأذي جنيني قابل للقياس في التعرضات لأقل من ١رم.

٦- **تأذي الصبغيات**: يتطلب كشف تأذي الصبغيات عدة سلالات. اقترحت دراسة أوك ردج أن التعرضات المستمرة منخفضة الشدة (١ إلى ١٠ رم باليوم) تحمل فقط ١٠٪ - ٢٥٪ فعالية في إحداث طفرة التعرضات الحادة.[١٣،١٤] يجب مراقبة المناطق الموضعية من التعرض بعناية من حيث مظهر الحيوية والشفاء وتطورالحروق الشعاعية. وقد تظهر مناطق الحروق الكيميائية أو الحرارية والتي تعرضت أيضاً لإشعاع هام تغير في قابلية الحياة أو التئام ضعيف. تأخذ هذه الأعراض عادة أياماً إلى أسابيع لكي تتطور. يجب إجراء تعداد اللمفاويات، تعداد الصفيحات الدموية، وتعداد المعتدلات بشكل يومي.

التلوث Contamination

إذا كان المريض نشيط إشعاعياً، فإن ذلك قد يكون نتيجة للتلوث أو (نادراً) نتيجة نشاط محدث من مصدر نيتروني. لا يشكل الإشعاع المحدث من تعرض نيتروني أي خطر على العاملين الطبيين ويستخدم غالباً للمساعدة في تقييم حجم المقدار المعطى للمريض. قد تكون أهم نقطة يجب أن يدركها أفراد الخدمات الطبية هي أن هذا التلوث الإشعاعي يشبه الحروق الكيميائية. فإذا لم يتم إزالة التلوث الإشعاعي أو التلوث الكيميائي، فإنه يستمر في إحداث الحروق. وإذا ما انتشر ذلك التلوث إلى العامل الطبي فإنه سوف يصاب بحروق أيضاً. إذا كان المصدر الإشعاعي ضعيفاً فإن هذا المصدر سوف يحرق بمعدل بطيء، تماماً مثل المحاليل الكيميائية الضعيفة التي سوف تحرق بدرجات أبطأ من المحاليل القوية. وبمقارنة أخرى للحروق الكيميائية، فإن التلوث الإشعاعي قد يكون خارجياً، أو قد يكون مبتلعاً، أو قد يكون مندمجاً في الجروح. وقد يتضاعف التعرض للإشعاع والتلوث الإشعاعي أيضاً بإصابات أخرى مثل الإصابات

الانفجارية أو الحروق. عند معالجة التلوث الكيميائي، لا يوجد على الغالب طريقة لمعرفة متى تم آخر تمديد المادة الكيميائية أو غسلها. هذا ليس صحيحاً في الإسعافات الإشعاعية. عند معالجة التلوث الإشعاعي، فإن التلوث المتبقي يمكن قياسه بأدوات مناسبة.

الوقاية من التلوث الإشعاعي

عند الاستجابة للحالات الإسعافية التي شملها التلوث الإشعاعي، يجب على طاقم الإنقاذ وأفراد سيارة الإسعاف أن يرتدوا البدلة الواقية المناسبة للمنطقة. تعد الأقنعة ذات الفلاتر أو الأجهزة التنفسية الذاتية المتطلبات الدنيا بالنسبة لمعظم حالات التلوث الإشعاعي. يجب تدبير التعرض المستمر لإشعاع عالي الشدة كما هو مذكور سابقاً، مع الانتباه لحدود المدة الزمنية، زيادة المسافة، والدفاعات المناسبة. وعادة ما يحدد عالم الأحياء الإشعاعي هذه المتطلبات. قد تكون هناك مشكلة في حماية بيئة سيارة الإسعاف، فمن غير المحتمل عند استلام بلاغ عن حادث في مثل هذا الوقت وبمثل هذه التفاصيل أن نستطيع إزالة جميع الأدوات غير الضرورية من سيارة الإسعاف وتغطية داخل السيارة بالبلاستيك أو الورق قبل الوصول إلى مكان الإشعاع. يجب اعتبار سيارات الإسعاف وأفراد طاقمها ملوثين. ويجب أن لا يطلق سراح المستجيبين لموقع الحادث حتى يخضع أفراد الطاقم والمركبات إلى التطهير والمعالجة من قبل أخصائي الفيزياء الحيوية. إذا تضمنت منطقة الخطر إصابات متعددة، فإن تطهير المركبة وأفراد الطاقم يكون بالتقدير المشترك لكل من أخصائي الفيزياء الحيوية الإشعاعي وقائد موقع الإصابات الشاملة (يكون عادة طبيباً). يمكن تحمل مستوى طفيف من التلوث من أجل نقل مرضى آخرين، خاصة أولئك الذين قد يكونون تلوثوا من قبل.

يجب على الطاقم الطبي والتمريضي أن يتعاملوا مع المريض باستخدام (على الأقل) الأقنعة، والفراشي، والمعاطف، والقفازات ليجنبوا أنفسهم التعرض. يجب تطهير الطاقم الطبي والتمريضي بعد تقديم العناية للمريض، تماماً كما لو كانوا ملوثين بمادة كيميائية. يسمح للملازمين الطبيين بالتعرض لمقدار ٥ رونتجن من أجل إجراء المعالجة الروتينية وتطهير المرضى. ومن أجل المعالجة الإسعافية، يسمح حتى مقدار٢٥ رونتجن. حيث يشكل هذا المستوى من التعرض بالنسبة لحياة الفيزيائي الشعاعي مجمل التعرض مدى الحياة مما يحول دون عمله في هذا المجال أو أي مجال يتعلق به. من أجل المعالجة المنقذة للحياة يسمح حتى ١٠٠ رونتجن في مدة سنة واحدة. ينبغي أن نعلم أن الحمل يحول دون المشاركة في أي تعرض إشعاعي طوعي.

التلوث الداخلي (الدمج) Internal Contamination (Incorporation)

يمكن أن يحدث التلوث الداخلي إما بسبب ابتلاع أو استنشاق المركبات المشعة. قد يحدث الاندماج أيضاً من جزيئات توضعت في الجسم بتأثير انفجاري. على الرغم من أن العوامل المشعة المندمجة قد تكون مميتة للمريض، فإن العوامل المندمجة تشكل خطراً قليلاً لمقدمي الإسعاف. إن الاستثناءات الوحيدة لهذا الشيء هي، بالطبع، خلال التعامل مع نفايات الجسم والتخلص من الشظايا من الجروح. وتتحدد خطورة التلوث الداخلي بما يلي:

١- طريق دخول التلوث.

٢- العمر النصفي للنظير.

٣- الطبيعة الكيميائية للنظير.

٤- مكان توضع النظير داخل الجسم.

٥- مستوى التعرض للنظير.

٦- المعالجة النوعية المطلوبة لكل نظير مشع.

يجب تقييم مستوى الإشعاع من قبل فيزيائي الإشعاع. يمكن إجراء ذلك بواسطة الغسيل المعدي، تحليل البول، المسحات الأنفية، وإذا كان متوفراً، عدادات كامل الجسم. يمكن تحديد مكان النظير في جسم المريض بواسطة فحص غاما كاميرا، إذا كان، بالطبع، النظير يصدر أشعة جاما. هناك عوامل متعددة تمنع امتصاص النظير المشع أو تسرع في طرحه. إن الساعات القليلة الأولى بعد اندماج المادة النووية المشعة قد تكون حاسمة للمعالجة الفعالة. يجب استشارة الفيزيائي الإشعاعي أو الطبيب الخبير في الطب النووي في جميع حالات اندماج النظائرالمشعة المشتبهة.

زيادة طرح أو إيقاف الامتصاص

إن كلا من مادة الإيبكاك Ipecac والفحم وسترات المغنيزيوم أو السوربيتول يمكنها أن تسرع من طرح أو توقف الإمتصاص المعدي المعوي. المعادن، مثل النحاس والحديد والبلوتونيوم تمتص بشكل أفضل في البيئة الحمضية، مثل المعدة. لذلك إن معادلة حموض المعدة باستخدام مضادات الحموضة قد يؤدي إلى تشكيل الهيدروكسيدات أو تنقص انحلالية هذه المعادن.[١٥-١٧] يجب استعمال السوربيتول أو ألجينات الصوديوم أو أملاح الألمنيوم عند ابتلاع السترونتيوم.

الغسيل القصبي السنخي Bronchoalveolar Lavage

قد يستخدم الغسيل القصبي السنخي عند استنشاق الملوثات، لكنه يسبب تأثيرات جانبية واختلاطات هامة. عادة يترك هذا الموضوع لأولئك الذين تجاوزا كثيراً مقدار العبء الجسمي الأقصى المسموح به من النظير.

منافسة النظير Isotope Competition

إن منافسة النظير تستطيع أن تنقص من امتصاص هذا النظير عن طريق توفير فائض من عنصر مشابه له ولكن ليس له شكل النظير المشع. مثال شائع هو استخدام أملاح اليود لمنع امتصاص اليود المشع ^{131}I من قبل الغدة الدرقية. إن أحد أهم المنتجات

الانشطارية الحيوية المنبعثة من حوادث المفاعل هو اليود المشع I^{131} فإذا أعطي خلال ساعة من التعرض لليود المشع، ٣٠٠ مغ من اليود المستقر فإن هذا سوف ينقص من نسبة الامتصاص في الغدة الدرقية بحوالي ٩٠٪.[١٨] العامل المستخدم في هذه التقنية يدعى غالباً العامل الحاصر. يجب إعطاء هذا العامل بسرعة، فهناك تأثير قليل عندما يتم إعطاء يود البوتاسيوم بعد ١٢ ساعة من التعرض. حسب توصيات منظمة الغذاء والدواء، يجب القيام بهذه المعالجة الوقائية فقط عندما يكون التعرض الإشعاعي المقدرمن اليود المشع إلى الغدة الدرقية أكثر من ١٠-٣٠ رم.[١٩] إن إعطاء اليود بهذه الطريقة يمكن التخطيط له مسبقاً، ويمكن للسكان المدنيين أن يأخذوا هذا المقدار بأنفسهم بناء على توصيات الصحة العامة[٢٠]. يجب ملاحظة أن هذه المعالجة جيدة فقط في حالات التعرض لليود المشع I^{131} هناك بعض الجدل حول كل من تطبيق العامة لهذه المعالجة وحول عتبة الإشعاع التي يجب عندها إعطاء اليود. لقد استخدم العلاج الحاصر باليود المستقر عند اكتشاف حادثة تشرنوبيل وكان له تأثير جيد. هناك عامل حاصر آخر يستعمل من أجل منع امتصاص عنصر السترونتيوم. يتصرف السترونتيوم مثل الكالسيوم في الجسم. إنه يمتص من قبل العظام ويندمج في المادة العظمية. ولمنع ذلك، يمكن إعطاء الكالسيوم لكي يساعد على إزاحة السترونتيوم وتحسين طرحه عبر الكلى.

تمديد النظير Isotope Dilution

هناك تقنية ذات علاقة بالموضوع هي تمديد النظير، يتم خلالها إضافة كميات كبيرة من النظير المستقر لإنقاص الاحتمالية الحسابية لاندماج ذرة محددة من الشكل المشع. المثال النموذجي لذلك هو استخدام الماء العادي عند مواجهة اندماج أكسيد ثنائي الهيدروجين المشع. يجب أخذ الحذر هنا بالمراقبة المتواصلة للشوارد خلال هذه المعالجة. أحيانا، يتم تمديد النظير باستخدام عنصر مختلف تماماً لكنه يشارك الصفات

الكيميائية للنظير المشع. أمثلة على هذه التقنية، التي تدعى بالمعالجة الإزاحية، استخدام الكالسيوم لحصار امتصاص السترونتيوم المشع واستخدام اليود لحصار امتصاص التكنيتيوم المشع.[٢١] يجب الاتصال مع قسم الطب النووي أو الأخصائي الشعاعي فيما يتعلق بالعوامل الخاصة المستخدمة لإزاحة نظائر مشعة محددة.

العوامل الخالبة Chelating Agents

هناك عوامل خالبة محددة ذات طبيعة معدنية ثقيلة تستخدم من أجل بعض النظائر وهي تزيل جميع النظائر ذات نفس النوع من الجسم الجدول رقم (١٤-١١).

الجدول رقم (١٤-١١). المعالجة الخالبة لاندماج النظائر.

النظير	العامل الخالب
الحديد	ديفيروكسامين
السيزيوم	أزرق بروسيا
النحاس، الذهب، الرصاص، والكوبالت	بنيسيلامين
الروبيديوم	كلور ثاليدون
البولونيوم	ديماركابرول (العامل البريطاني ضد الخردل، البال BAL)
الكادميوم، الكروميوم، الرصاص، والتوتياء	كالسيوم EDTA (إيتيلين دي أمين تترأأسيديك أسيد)
نادرة الأرض مابعد اليورانيوم❖	توتياء DPTA (دي إيتيلين تراي أمين بنتا أسسيتيك أسيد)

❖ أمريسيوم، كاليفورنيوم، سيريوم، لانثونوم، بلوتونيوم، برومثيوم، سكانديوم، واليوتريوم. مأخوذ من: مجهول الاسم. التدبير الطبي للإصابات الشعاعية الطبعة الثانية. مؤسسة البحوث الشعاعية الحيوية للقوات المسلحة.
http://www>afrri>usuhs>mil/www/outreach/pdf/22edmmrchandbook>pdf(Accessed January 5,2004).

إن النموذج الأولي لهذه الآلية هو الاستخدام الطبي لدواء ديفيروكسامين من أجل إزالة الحديد الزائد من الجسم. كذلك يتم إزالة الحديد المشع بنفس الطريقة. يجب

opelkanal.com

أخذ العناية الفائقة عند استخدام هذه العوامل الخالبة، لأنها لا تميز بين العناصر المشعة والعناصر غير المشعة. قد تحدث اضطرابات شاردية هائلة وخطيرة من جراء استخدام هذه العوامل الخالبة. يجب الاتصال مع قسم الطب النووي أو الأخصائي الشعاعي فيما يتعلق باستخدام العوامل الخالبة المحددة والجرعات المناسبة للمعالجة الخالبة لنظائر مشعة محددة. إن جميعة الغذاء والدواء FDA اعتمدت حديثاً عاملين خالبين جديدين وهما: Ca-DTPA وZn-DTPA وهما مناسبان لمعالجة اندماج البلوتونيوم، والأمريسيوم، والكوريوم.

يلخص الجدول رقم (١٤-١٢) معالجة التعرضات الإشعاعية الناجمة عن نظائر مشعة مختلفة. إذا استخدمت هذه العوامل المتنوعة الحاصرة أو الخالبة في الساعات الثلاثة الأولى بعد البلع فإنه يمكن إنقاص الامتصاص. من أجل القيام بالمعالجة الفورية، فإنه يتوجب على قسم طب الطوارئ أن يكون لديه خطة محددة بوضوح، بالاعتماد على معرفة المصنع أو العمليات المخبرية، والنيوكليوتيدات المشعة المستخدمة، والأدوية المطلوبة. قد لا يكون هذا ممكناً عندما يكون سبب التعرض حادثاً في الشارع أو حادثاً إرهابياً. بعد المعالجة، يجب تكرار فحوصات النظائر باستخدام كل من كاميرا غاما وقياسات عدادات كامل الجسم، يجب إجراء هذه من أجل توثيق التطهير. ثم يمكن لأخصائي الفيزيائي الشعاعي أن يحسب جرعة الإشعاع الممتصة الكلية لكي يحدد ما إذا كانت هناك متلازمة إشعاع سريرية محتملة الحدوث.

الجدول رقم (١٤-١٢). مقومات معالجة التلوث الداخلي.

النظير	طريق الدخول	المنطقة المصابة	طريقة المعالجة	المعالجة	الجرعة
اليود ١٣١	الاستنشاق البلع الامتصاص عبر الجلد (كمية قليلة)	الدرق	حصار الامتصاص من قبل الدرق	SSKI (المحلول المشبع ليود البوتاسيوم)	٣٩٠ مغ/اليوم عن طريق الفم لمدة ٧-١٤ يوماً
السيزيوم ١٣٧	الاستنشاق البلع	كامل الجسم	التحريك إنقاص الامتصاص الهضمي	أزرق بروسيا (حديد السيانيد الحديدي)	١ غ في ١٠٠-٢٠٠ مل من الماء فموياً ثلاث مرات يومياً لعدة أيام
البلوتونيوم ٢٣٩	الاستنشاق الامتصاص الاندماج في الجرح	العظام الكبد الرئة	الخلب زيادة طرح النظير	DPTA	١ غ / اليوم لمدة ٥ أيام
الهيدروجين ٣ (تريتيوم)	البلع الاستنشاق كمية قليلة عن طريق الامتصاص الجلدي	كامل الجسم	التخفيف زيادة طرح النظير	الإدرار المائي	٣-٤ لتر/ اليوم من الماء فموياً لمدة أسبوعين
السترونتيوم ٩٠	الاستنشاق البلع	العظم	الإزاحة باستخدام الكالسيوم	الكالسيوم	
التكنيتيوم ٩٩	الاستنشاق البلع	الدرق	الإزاحة باستخدام اليود	SSKI	٣٩٠ مغ/ اليوم فموياً لمدة ٧-١٤ يوماً

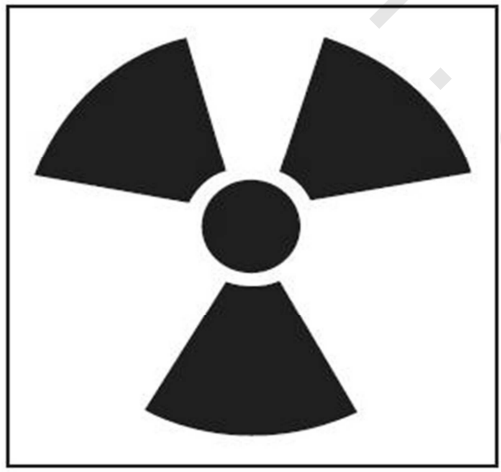
obeikandl.com

إزالة التلوث (التطهير) Decontamination

تبدأ جهود التطهير بالحقل. إذا سمحت ظروف المريض، فإن على أفراد طاقم سيارة الإسعاف أن يزيلوا ملابس المريض وغسل المناطق الملوثة بالماء والصابون. هذا العمل لوحده سوف يزيل العبء الأكبر للتلوث السطحي وينقص بسرعة خطر تعرض الفريق الطبي. يجب وضع النفايات السائلة والألبسة في حقائب بلاستيكية من أجل ضمان عدم انتشار التلوث. يجب أن توضع الألبسة المزالة في حقائب وتغلق مع وضع الاسم والمكان وتوسم على أنها مادة مشعة كما هو موصوف لاحقاً، بشكل خاص في الهجوم الإرهابي المحتمل. يجب أن يبدأ التطهير، إذا سمحت الحالة الطبية، بغسيل المناطق الأكثر تلوثاً أولاً. يجب أن يكون الغسل اللطيف إلزامياً حيث إن الحك وتعرية الجلد يسمح بدخول الجزيئات. يجب إعطاء الانتباه الخاص للطيات الجلدية والتجاعيد والشعر وفتحات الجسم. يجب إعادة قياس المستوى الإشعاعي بعد كل غسيل واستحمام وتسجيل النتائج.

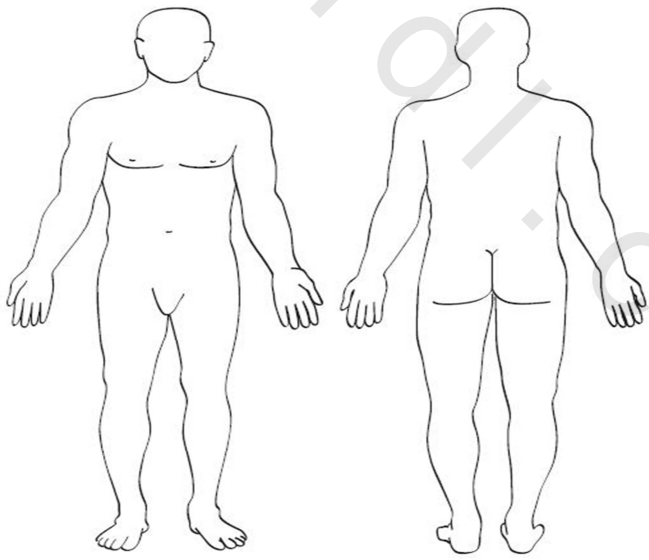
يجب على مقدمي الخدمة الطبية أن يتأكدوا ألا يأخذ التطهير أولوية على الإجراءات المنقذة للحياة، فالمريض المصاب بالرضوض من المحتمل أن يموت من الرض أكثر من أن يموت من التلوث الإشعاعي. يجب على مقدمي الخدمة الطبية بجميع مستوياتهم أن يكملوا الفحص الأولي والثانوي المناسبين، ويعالجوا الحالات المهددة للحياة وكأنه لا يوجد تلوث إشعاعي. الاستثناءات الوحيدة لهذا الشيء قد تكون إجراء عمليات الجسم التي قد تسبب الاندماج وكذلك الإنعاش الفموي الذي قد يعرض المنقذ لاندماج المواد المشعة. إنه من الضروري أن تكون هناك منطقة تطهير منفصلة في المشفى. يجب تغطية الجدران والأرضيات بصفائح بلاستيكية وكذلك يجب حماية المفاتيح الضوئية بالبلاستيك. يجب السماح بالدخول والخروج فقط حسب تقدير وتصرف أخصائي الأشعة أو الأخصائي الفيزيائي الحيوي الإشعاعي الذين يستطيعون

التحقق من التلوث الإشعاعي. إذا لم يتوفر هناك مكان استحمام من أجل التطهير ومجهز بخزان مياه فإنه يجب التفكير بالحمامات المتنقلة المجهزة بخزانات الماء البلاستيكية الكبيرة. يجب اعتبار جميع الماء الناجم عن الاستحمام ملوثاً حتى تتم معالجته من قبل أخصائي الإشعاع الفيزيائي الحيوي. يجب أن توكل المهمة لشخص واحد يفضل أن يكون أخصائي الفيزياء الشعاعي الذي يتأكد من أن لدى جميع أفراد الطاقم مقياس الجرعة وقاموا بارتداء هذا المقياس ويتأكد من أن مقياس الجرعة قد تم تسجيل قراءاته. يجب على نفس الشخص أن يتأكد أن جميع الأفراد غير الأساسيين قد تم استبعادهم من المنطقة وأنه تم التحقق من انتقال الأفراد والإمدادات غير الملوثة فقط من المنطقة الملوثة إلى المنطقة النظيفة. يجب إزالة ألبسة المريض وما يتعلق بفراشه ووضعها في حقائب بلاستيكية، هذا إذا لم يتم فعله من قبل. يجب أيضاً إزالة جميع المجوهرات والعناصر المعدنية ووضعها في حقائب بلاستيكية. هذه الحقائب البلاستيكية يجب تسميتها على أنها مواد مشعة، يجب عدم رميها. من الأفضل استعمال الإشارة العالمية للنشاط الإشعاعي (الشكل رقم ١٤–٨).



الشكل رقم (١٤–٨). الإشارة العالمية للإشعاع.

يجب قياس وتسجيل المناطق الملوثة على مخطط تشريحي (الشكل رقم ١٤- ٩). يعتبر مخطط لاند وبراودر للحروق متفوقاً بهذا التسجيل. إن القيام بقراءة ثانية عند نهاية التطهير سوف تؤكد فعالية جهود التطهير. يتحدد استخدام عوامل معينة لتطهير الجلد من خلال صفات المادة الملوثة، وهذه المعلومات يجب أن تكون متوفرة للأخصائي الصحي الفيزيائي. إذا لم يكن هناك مادة كيميائية محددة أو عامل مخفف يزيل، أو يثبت، أو يساعد في إذابة العامل، فإنه يستطب عندئذ استعمال محلول منظف. يجب الابتعاد عن استخدام الحك الشديد لأنه يؤدي إلى تخريب الحاجز الجلدي. من المناسب استخدام كميات كبيرة من الماء أو محلول مخفف آخر. يجب استخدام الماء الفاتر أفضل من الماء الساخن لأن الماء الساخن سوف يفتح المسامات ويؤدي إلى التلوث الداخلي.



الشكل رقم (١٤-٩). مخطط تحديد أماكن الإصابة الإشعاعية.

opelkanal.com

تتضمن المحاليل المطهرة التي استخدمت بنجاح الصابون والماء، الصابون الأخضر والماء، والمنظفات المعتمدة على الفوسفات مثل التايد والتشير، والعوامل الخالبة مثل ETDA وDPTA، وبرمنغنات البوتاسيوم متبوعة بثائي سلفات الصوديوم وأكسيد التيتانيوم.[٢٣] يتم التنضير والتطهير الجراحيين بشكل أفضل من قبل الجراح المتدرب في معالجة الجروح الشعاعية. قد يحتاج إلى أفراد طاقم جراحي إضافي إذا كان المريض ملوثاً من قبل مصدر عالي المستوى جداً أو كان هناك مرضى كثيرون مصابين. في الحالات الشديدة قد يقوم الجراح بالعملية الجراحية من وراء ستار رصاصي عندما يزيل الشظايا.

مشكلة المناطق في إزالة التلوث Problem Areas in Decontamination

تشكل الجروح وفتحات الجسم الأولوية الأولى في جهود التطهير لكونها تشكل خطراً على الامتصاص الجهازي.

الجروح: إذا تعرض الجرح للتلوث الإشعاعي يجب تحضير وتغطية الجرح بضماد جراحي ذاتي اللصق يستعمل لمرة واحدة. يجب إزالة الجزء الأكبر من التلوث الجلدي بالري الغزير واللطيف. يجب غسل المناطق المحيطة وتنظيفها حتى يتم تطهيرها. أزل غطاء الجرح وقم بري الجرح بالماء المعقم. يجب جمع السائل الناتج عن الري وخزنه في وعاء بلاستيكي كبير وموسوم. يجب مراقبة كل خطوة من إجراءات التطهير ويجب تسجيل مكان ومدى التلوث. إن استخدام الفرك الشديد عند التطهير قد يؤذي الجلد ويسمح بامتصاص الملوثات الجلدية. إذا كان الجرح ملوثاً بشكل كبير فإنه يستطب إجراء التنضير الرطب الثنائي المذكور سابقاً والقيام بالتنضير الجراحي الدقيق. كذلك يجب في كل خطوة من عملية التطهير أن يتم قياس وتسجيل درجة ومكان التلوث. إذا استمر التلوث يجب إجراء تنضير جراحي آخر. لا يجب إجراء البتر من أجل التطهير بدون سبب واضح جداً. يجب التحقق مع أخصائي الفيزياء الشعاعي الحيوي

حول طبيعة ودرجة الإصابة إذا لم يتم إزالة التلوث ويجب اتخاذ القرار المناسب. إن الوظيفة الاستقلابية السيئة والتثبيط المناعي الناتج عن الإشعاع قد يعقد معالجة الإصابة التي هي أصلاً بسيطة. إن الإصابات أو الحروق التي تؤدي نموذجياً إلى نسبة وفيات ٥٠٪ بالمعالجة العادية يمكن أن تؤدي إلى نسبة أعلى تصل إلى ٩٠٪ عند المرضى الذين لديهم جرعة تعرض ١٥٠ رم فقط (١,٥ غراي) من إشعاع كامل الجسم.

الأذنان والفم والعينان: يجب ري المنطقة الملوثة بالمحلول الملحي أو الماء والحفاظ على السائل الناتج عن الغسل من أجل التحليل. يجب التأكد من أخذ المسحات لهذه المناطق قبل إجراء الري والحفاظ عليها في أوعية بلاستيكية من أجل استخدامها من قبل أخصائي فيزياء الإشعاع الحيوي. يمكن إنقاص الامتصاص الهضمي باستخدام الغسيل المعدي والمقيئات والمسهلات. إن استخدام مضادات الحموضة الحاوية على أكسيد الألمنيوم قد يؤدي إلى ترسب المعادن المشعة كمركبات هيدروكسيدية غير منحلة.

الشعر: قد يحتفظ الشعر ببعض النظائر لذلك يجب قص الشعر في تلك الحالة. يجب عدم حلاقة الفروة بقدرالإمكان لأن أذية الجلد قد تزيد الامتصاص والاندماج المتأخر في الجسم.

الاستنشاق: حوالي ٥٠٪ من المادة الملوثة التي استنشقت يعود إلى الحلق بواسطة العمل الهدبي في الرغامى الهوائية. هذا الجزء غالباً ما يبتلع. يجب حفظ جميع القشع من أجل التحليل. قد يستطب إجراء الغسيل الرئوي، لكنه غالباً لا يستخدم في الولايات المتحدة. يجب على الطبيب أن يستشير أخصائي الفيزياء الشعاعي الحيوي في هذا الأمر. إن قياس كمية التلوث التي تم إزالتها، وبشكل أهم أكثر، قياس الكمية التي ما تزال باقية، يجب الحصول عليها. يطلب أخصائي فيزياء الأشعة الحيوي مسحات فموية وأنفية من أجل تقييم التلوث المبتلع. أيضاً، من المفيد جمع البول ٢٤

ساعة والبراز ٧٢ ساعة. يجب جمع كل من القشع والإقياء والأنسجة المتهتكة والجزيئات والشظايا والشعر المحلوق والمفرزات يجب جمعها والحفاظ عليها بشكل منفصل. يجب أخذ عينات من الدم لكي تستخدم من قبل أخصائي الفيزياء الشعاعي الحيوي في تقييم التعرض الحاصل. قد يستطب إجراء تعداد إشعاع كامل الجسم وتعداد اليود المشع. عندما يتم تطهير جميع المرضى يجب على أفراد الطاقم الطبي أن يقوموا بتطهير أنفسهم. لذلك يجب إزالة كل من الألبسة والأقنعة والأحذية والأغطية وحزمها في حقيبة معلومة. يجب القيام بالاستحمام وثم ارتداء بدلات جديدة. يجب على أخصائي فيزياء الأشعة الحيوي أن يراقب أفراد الطاقم الطبي ويسجل أي مكان للإشعاع ويتأكد من إزالة جميع هذه المصادر. أخيرا، يجب إجراء التطهير تحت نظام صارم من المراقبة لكل من البدلات، سيارات الإسعاف، المهملات، الأسرة، والمعدات الأخرى المستخدمة. يجب رمي جميع المواد القابلة للاستهلاك لمرة واحدة سواء استعملت أو لم تستعمل واعتبارها نفايات ملوثة. قد يكون من الضروري استبدال المعدات الملوثة بشدة. كما يجب تطهير جميع المواد الملوثة أو تخزينها لمدة من الوقت حتى يتم اضمحلال النظير أو رميها على أساس نفايات مشعة تماشياً مع الأنظمة الفيدرالية.

المعطيات المخبرية

قد تقدم المعطيات المخبرية الدلائل حول مدى التعرض، ومعلومات عن طبيعة العامل المشع، وإنذار الشخص المتعرض. يجب أن تتضمن الفحوص المخبرية البسيطة ما يلي:

- تعداد الدم الكامل مع الصفيحات الدموية كل ست ساعات.
- تحليل البول (يجب الاحتفاظ بجميع عينات البول منذ بدء الحادث).

- تحليل البراز بحثاً عن النوكليدات المصابة (يجب الاحتفاظ بجميع عينات البراز منذ بدء الحادث).
- أخذ مسحات أنفية قبل تنظيف الأنف، أو غسل الوجه، أو الاستحمام.
- قراءة مقياس الجرعة إذا كان متوفراً عند المريض. يجب التعامل مع العينات المخبرية على أنها مشعة حتى يثبت عكس ذلك. يمكن تطهير الأشياء الشخصية، مثل المجوهرات والألبسة، ثم تعاد إلى المريض بعد موافقة ضابط مراقبة الإشعاع. لا تدع المريض أبداً يلمس العينات المخبرية أو أشياء أخرى حتى يتم تطهير المريض ويتم التحقق من كونه خالياً من بقايا التلوث.

تحليل التهديد Threat Analysis

الأسلحة النووية

هناك مشهدان رئيسيان يصفان إمكانية حصول الإرهابيين على السلاح النووي القادرعلى التأثير على الولايات المتحدة. في الحالة الأولى، يتم بيع سلاح مسروق إلى الإرهابيين الذين بدورهم يحاولون تهريبه إلى الولايات المتحدة أو إلى مجموعة من الأصول الأمريكية في الخارج، مثل حاملة الطائرات. قد يكون ذلك حقيبة نووية صممت أصلا من أجل القوات الخاصة لتدمير الجسور، السكك الحديدية، مستودعات الذخيرة، أو نقاط تجمع القوات. أنتج كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي بضع مئات من هذه الأسلحة النووية الصغيرة. في عام ١٩٩٧م، أعلن قائد الاتحاد السوفيتي السابق ألكسندر ليبيد عن فقدان عدد ١٠٠ تقريباً من الأسلحة المحمولة السوفيتية. وقد أوردت التقارير الصحفية أن المتمردين الشيشان سرقوا أسلحة نووية من قاعدة عسكرية روسية. في ميامي، عام ١٩٩٧م، عرض بعض الأشخاص من العرقية الروسية بيع حقيبة نووية لعملاء جمارك أمريكيين سريين. قد يكون

الإرهابيون قاموا بشراء هذه الأسلحة النووية الصغيرة من قبل وهم ينتظرون فقط الفرصة لتهريبها إلى الولايات المتحدة. أبعد من ذلك، بما أن الروس كانو قد فقدوا الكثير من السيطرة والولاء على قواتهم العسكرية، فقد يكون بعض الإرهابيين اشتروا سابقاً أسلحة نووية كاملة من المواقع العسكرية السابقة. المشهد الثاني يشمل مجموعة إرهابية تبني أسلحتها النووية بنفسها مستخدمة مواد مهربة. لقد وثقت منظمة الطاقة الذرية العالمية على الأقل ١٨ حالة تهريب مواد تصلح لصنع الأسلحة النووية منذ عام ١٩٩٣م. ويملك حوالي ١٢ بلداً هذه النوعية من المواد. تقع الكمية الأكبر في مرافق الأسلحة والمختبرات الروسية، والمحاسبة عن هذه المواد هو مبتذل وغير دقيق. الروس أنفسهم اعترفوا أنهم لا يعلمون كم العدد الذي يملكونه. معظم السلطات تشعر أنه بمقدور مجموعة إرهابية إنتاج سلاح نووي بدون مساعدة برنامج الأسلحة النووية تحت إشراف الولاية. على كل حال، إن امتلاك وإثراء اليورانيوم أو توليد البلوتونيوم في مفاعل نووي هي عملية باهظة وصعبة وتتطلب كل من المعدات الأساسية والتقنيات المتطورة. تشعر كثيراً من السلطات أن التحديات التقنية الكامنة وراء بناء قنبلة نووية تعوق الإرهابيين من بناء قنبلة نووية فاعلة. لسوء الحظ، النظرية التي تعتمد عليها القنبلة النووية موثقة جيداً بشكل تام، وإن إنشاء سلاح من نوع البندقية ليست مهمة معقدة. على الرغم من أن إنتاج هذا السلاح سيكون فقط من حجم قنبلة هيروشيما أو نكازاكي، فإن عملية بناء هذا السلاح هي عملية قابلة للتحقيق بالكامل من قبل العشرات من علماء الفيزياء النووية. إن تفجير سلاح نووي حتى لو كان خاماً بسيطاً في مدينة أمريكية سيسبب عشرات الآلاف من الإصابات. معظم الإصابات ستكون ناجمة عن التأثيرات الانفجارية والحرارية للسلاح. إنه السلاح الإرهابي المثالي وقد تم التفكير به من قبل كل من الإرهابيين والأمم على حد سواء. إنه حقاً سلاح التدمير الشامل والإصابات الشاملة معاً.

الانفجار

يولد التسخين السريع للهواء الحادث بواسطة التفاعل النووي للسلاح النووي انفجاراً. في الواقع، إن انفجار السلاح النووي غالباً ما يقاس بالكمية المكافئة من أطنان من TNT التي تحدث انفجاراً بحجم مماثل. بينما تتحرك خارجياً سحابة الغاز المتوسعة بسرعة، فإنها تولد هزة أو موجة انفجار، يتلوها انفجار الرياح. إن موجة الهزة وانفجار الرياح يولد نفس الأذيات المرافقة لعبوة ناسفة تقليدية. لكن تأثير السلاح الذري، على كل حال، أكثر بكثير، وإن نطاق الأذى خارج نقطة الانفجار (نقطة الصفر) هو أيضاً أكثر بكثير. قد تصل سرعة رياح الانفجار الناجمة عن التفجير النووي إلى أكثر من ٢٥٠ كم/ساعة. إن ضخامة موجة الانفجار المصاحبة للسلاح النووي هي السبب الرئيسي وراء تسمية هذه الأسلحة بالأسلحة ذات الدمار الشامل (الشكل رقم ١٤-١٠).

الشكل رقم (١٤-١٠). مدينة هيروشيما بعد الانفجار.

الأذيات الحرارية: على الرغم من أن الأذيات الانفجارية والتدمير المصاحب للسلاح النووي مخيفة، فإن العدد الأكبر من الإصابات والوفيات تنتج بسبب الحروق الحرارية الناجمة عن الانفجار النووي. يطلق التفاعل النووي كميات هائلة من الطاقة الحرارية، التي تسير عبر الهواء وموجة الصدمة معاً. على الرغم من إن الإشعاع الحراري يحدث خلال مدة قصيرة جداً، لكنه شديد جداً. إن الطاقة المشعة يتم امتصاصها من قبل أي سطح معرض للتفجير النووي. يسبب ذلك حروقاً بالنسبة للجلد البشري المكشوف. وقد يسبب الاشتعال أو الرماد لأي أسطح قابلة للاشتعال. يؤدي السلاح النووي من قوة ١-Kton إلى نسبة وفيات ٥٠٪، ناجمة عن الحروق، وذلك عند الأشخاص المعرضين ضمن حدود ٥٠٠ متر من نقطة التفجير. بما أن معظم هذه الحروق تنجم عن الطاقة المشعة، فإن الحماية منها جداً سهلة. فالحروق تحدث فقط في الأسطح المكشوفة للطاقة المشعة، لذلك فإن أي جدار أو شيء كامد سوف يمتص الطاقة الطاقة المشعة قبل أن تضرب الشخص. حتى أن الألبسة البيضاء أو الفاتحة اللون يمكن أن تعكس كثيراً من الطاقة المشعة. إذا نظر المصاب إلى الانفجار فإن شبكية العين سوف تتأذى بشكل دائم. وقد يحدث تخرب العينين أيضاً بالحروق الحرارية.

الأذيات الأولية للإشعاع: إذا تصور أحد ما العواقب الناجمة عن نتاج ١-Kton، فإن الأشياء التالية ستحدث خلال دقيقة واحدة حول نقطة الصفر:

١- يؤدي الانفجار إلى نسبة إصابات ٥٠٪ على بعد ٤٠٠-٥٠٠ متر تقريباً.

٢- الإشعاع الحراري (الحروق) سيؤدي إلى إصابات ضمن نفس المسافة التي يؤثر فيها الانفجار.

٣- تؤدي نبضة الإشعاع النووي (وهي إشعاعات غاما والنيترونات) إلى إصابات ضمن نطاق ٠,٥ كم تقريباً.

٤- قد تؤدي تداعيات النشاط الإشعاعي إلى تعرض خفيف جداً ضمن نطاق ٠,٨ كم، يعتمد ذلك على ظروف الريح والطقس.

من الواضح، أن أسلحة أكبر سوف تؤدي لتأثيرات أكبر الجدول رقم (١٤-١٣).

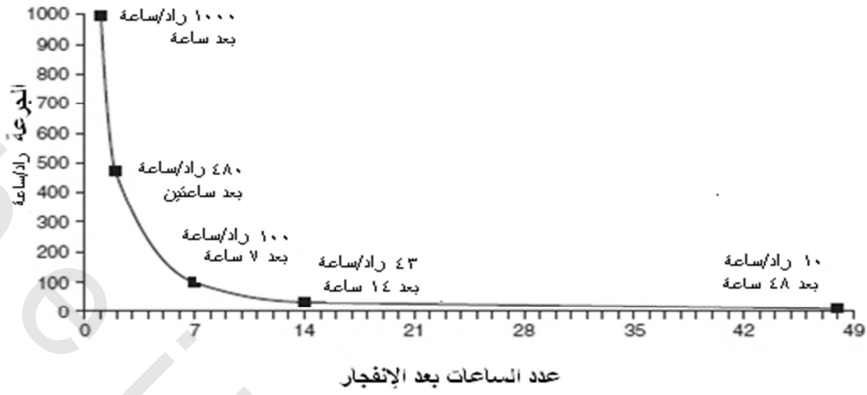
الجدول رقم (١٤-١٣). تأثيرات الأحجام المختلفة من الانفجارات.

طاقة الانفجار	تأثير أذية الانفجار	الإشعاع الأولي	الحروق
١ مليون طون	٤,٥-٥ كم	٢,٢-٢,٥ كم	١٤-١٥ كم
١٠٠ كيلو طون	٢-٢,٥ كم	١,٧-١,٩ كم	٥-٦ كم
10 كيلو طون	١ كم	١ كم	١ كم
١كيلو طون	٠,٥ كم	٠,٥ كم	٠,٥ كم

مأخوذ من غلاستون، سمويل ودولان، تأثيرات الأسلحة النووية (الطبعة الثالثة) يوليو ١٢، ٢٠٠٥.

الغبار الذري المتساقط (السَقط) Fallout

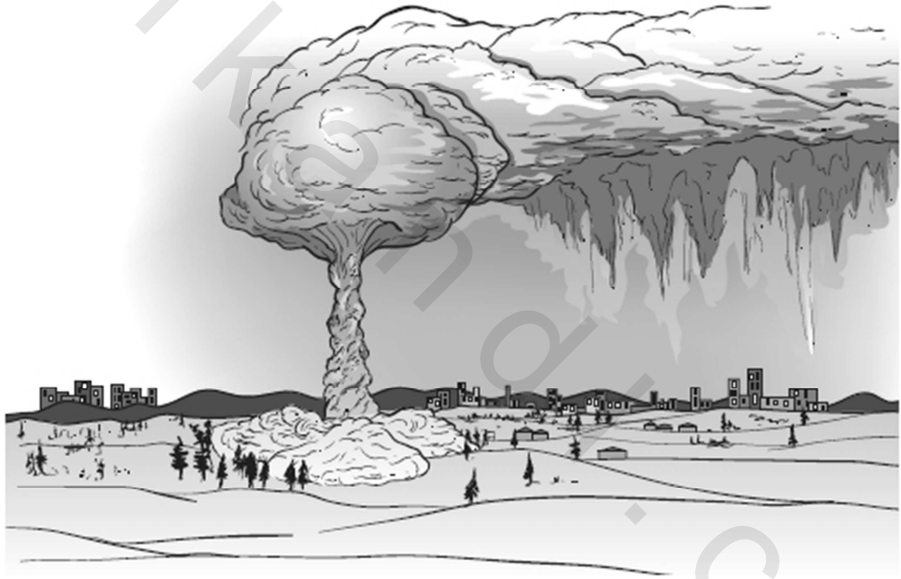
هناك أكثر من ٣٠٠ منتج ثانوي انشطاري مختلف ينتج عن التفاعل الانشطاري النموذجي. كثير من هذه النظائر لها أنصاف أعمار مختلفة بشكل واسع، تتراوح من أجزاء الثانية إلى آلاف السنين. يظن أن جوهر الاضمحلال هو انطلاق أشعة بيتا وأشعة غاما. يتشكل حوالي ٦٠غرام من هذه المنتجات الانشطارية لكل كيلوطن من إنتاجية القنبلة. النشاط المقدر لهذه النظائر المشعة حوالي ١,١ إلى $١٠^{٢١}$ Bq أو ما يعادل ٣٠ مليون كغ من الراديوم.[٢٤] معظم هذا النشاط الشديد يضمحل بسرعة في النظائر ذات العمر النصفي القصير (الشكل رقم ١٤-١١).



الشكل رقم (١٤-١١). معدل الاضمحلال.

في الانفجار النووي، تتبعثر الكميات الزائدة من البلوتونيوم أو اليورانيوم أو كلاهما بسبب قوة الانفجار وتضاف إلى التداعيات. إن البلوتونيوم أو اليورانيوم المبعثر خلال الانفجار يضمحل عبر طريقه المعتاد. إن جزيئات ألفا الناتجة لها أهمية إذا ابتلعت أو استنشقت. هناك تأثير إضافي اكتشف مبكراً في المراحل الأولى في إطار تطوير الأسلحة النووية وهو تحول التراب والحطام إلى سموم قاتلة كامنة. إن عملية قصف النيترونات الشديد الحادث خلال الانشطار تؤدي إلى اعتقال النيترونات في الصخور، والتراب، وحتى الهواء. ومن ثم تكتسب الصخور والتراب والهواء نشاطهم الإشعاعي الذاتي. إن المواد المتحولة، ونواتج الاضمحلال، والمواد الانشطارية المتبقية تتبخر ومن ثم تمتص من قبل كرة النار إلى الغلاف الجوي. هذه السحابة من الجزيئات الصغيرة يتم حملها بالرياح ومنها تهبط في المنطقة المحيطة. بعضها يتم حملها في الغلاف الجوي وتنتشر عبر العالم. إن تجمع الحطام المشع يطلق عليه الغبار الذري المتساقط (الشكل رقم ١٤-١٢). لقد تم التحقق أيضاً من وجود طريقة أخرى لتوليد مثل هذه السموم وهي كنتيجة مباشرة للمفاعلات النووية. عندما يتم استهلاك المواد الانشطارية في التفاعل النووي، فإن عاصفة النيترونات الناتجة تحول الأجزاء الأخرى من قضبان

وقود المفاعل وكل التركيبات المحيطة إلى نظائر مشعة. على الرغم من أن هذه المادة ليست مفيدة، إلا أنها مشعة بشدة، وفي الواقع، أكثر تأثيراً من مجرد الغبار الذري الساقط. على الرغم من أن التأثيرات الانفجارية والتأثيرات الحرارية للانفجار النووي هي أكثر أهمية وتحدث إصابات أكثر من تأثيرات النشاط الإشعاعي، إلا أن معظم الناس يخافون أكثر من النشاط الإشعاعي.



الشكل رقم (١٤-١٢). السقط الذري.

حوادث المفاعلات والتخزين Reactor Accidents and Storage

معظم الناس على دراية بحوادث المفاعلات لكل من جزيرة الثلاثة أميال وتشرنوبيل. إن حادثة تشرنوبيل نجمت عندما تم تجاوز تقريباً ثمانية أنظمة من أنظمة الحماية. أدى الانفجار إلى انهيار لب المفاعل وتخرب سطح وعاء العزل. لقد أدى

الانفجار وانطلاق المواد المشعة لاحقاً إلى حدوث تلوث واسع الانتشار لمناطق شاسعة. سبب هذا الحادث موت ٢٨ شخصاً من جراء الإصابة الإشعاعية الحادة، وقد تم معالجة ٢٣٧ شخص من متلازمة الإشعاع الحاد. في العالم الغربي، إن احتمال حدوث عمل إرهابي في المفاعل قليل. هذا يعود إلى الأمان العالي المحيط بالمفاعلات ولوجود العدد الوافر من أجهزة الحماية المدمجة في تصميم المفاعل. هناك ساتر واسع حول المفاعل، ولذلك، يتطلب الأمر كمية كبيرة من التفجيرات لكي تكسر هذا العزل. وقبل الوصول إلى وعاء العزل، يجب على الإرهابيين أيضاً أن يجتازوا رجال الأمن المسلحين وأسوار الإقصاء. وهذا حدث قليل الاحتمال. هناك بعض الدلائل على أن الإرهابيين يفكرون بالقيام بعملية اصطدام طائرة في مفاعل نووي أو حفرات خزن الوقود. وهذا الشيء قد يكون مدمراً أكثر من معظم حالات التخريب الداخلي للمفاعل.

أسلحة نشر الإشعاع Radiation Dispersal Weapons

قاد الخوف من حدوث الإصابات المتعلقة بالإشعاع إلى تطوير سلاح خام للإرهاب ألا وهو سلاح نشر الإشعاع (RDW، أو القنبلة القذرة). في هذا الاختراع يستخدم تفجير أو بخاخ لنشر خليط مشع في منطقة مأهولة بالسكان. تصبح المادة خطيرة لأي واحد قريب منها وتتطلب جهود تنظيف واسعة ومكلفة. يصبح بعض الناس مرضى أو حتى أنهم يموتون من التعرض للإشعاع. إن معظم الأشخاص الذين تعرضوا لهذا الإشعاع سوف تظهر عندهم المشاكل وذلك فقط بعد سنوات من التعرض. إن تأثيرات وتكاليف هذا النوع من الأسلحة يمكن توضيحه بسهولة عن طريق مراجعة عدة حوادث تم خلالها نشر مواد مشعة بين العامة الآمنين. لقد كان أول حادث إشعاعي غامض رئيسي في عام ١٩٨٢م في جورز في المكسيك. في هذا الحادث، تم سرقة وتفكيك المصدر الإشعاعي المؤلف من حوالي ٤٠٠ Ci من الكوبالت المشع

^{60}Co ضمن وحدة المعالجة الشعاعية من المستودع. وتم كشف وفصل الجوهر المشع المؤلف من ٦٠٠٠ كرية من الكوبالت المشع. وبعدها تم سكب هذه الكريات (حبيبات الكوبالت) في سيارة بيكآب وعلى الأرض في أحد المزابل.[٢٥] تم تفكيك الآلة وبيعها كخردة لشركة تصنيع الفولاذ. إن بعض كريات الكوبالت مع مواد معدنية خردة أخرى تم إعادة استعمالها في بناء قضبان التسليح. لقد بدأت عملية التنظيف عندما وجدت شاحنة البيكآب الناقلة لقضبان التسليح نشيطة إشعاعياً تماماً عندما حاولت هذه الشاحنة المرور من خلال الكاشفات الإشعاعية في مختبر لوس ألموس. خلال الشهرين الممتدين بين السرقة وكشفها تم تعرض كثير من الناس إلى جرعات كبيرة من الإشعاع. لقد قللت السلطات المكسيكية من أهمية حادثة جورز وقد نالت الحادثة شعبية قليلة. وقد أدت التعرضات الناتجة إلى إصابة المئات وقتلت شخصاً واحداً.[٢٦] لقد تم تعرض حوالي ٤٠٠٠ شخص، من ضمنهم خمسة أشخاص تناولوا جرعات تتراوح من ٣٠٠ رم (3Sv) إلى ٧٠٠ رم (7 Sv). أربعة أشخاص مكسيكيون عاملون في المزبلة كانوا قد تلقوا جرعات كامل الجسم كبيرة جداً وشخصان آخران احترقت أياديهم وأقدامهم بشدة. تلقى ٧٥ شخصاً آخرون جرعات تتراوح من ٢٥ رم إلى ٣٠٠ رم، بينما تلقى ٧٢٠ شخصاً آخرون جرعات تتراوح بين نصف رم إلى ٢٥ رم. لقد كان هناك ستة آلاف طن من قضبان التسليح ملوثة، من بينها ٩٥٠ طناً تم تصديرها إلى الولايات المتحدة. لقد تم هدم ٨١٤ منزلاً بسبب قضبان الفولاذ الملوثة التي استخدمت في البناء. حادثة مشابهة حدثت عام ١٩٨٧ في غوايانا – البرازيل بعد اقتحام شخصين من جامعي الخردة لبناء مهجور ووجدوا وحدة معالجة شعاعية بأشعة غاما.[٢٧،٢٨] أزالوا رأس الوحدة وأخذوا الكبسولة الحاوية على ٢٠ غراماً من السيزيوم المشع ^{137}Cs، والتي كان لها نشاط إصدار ١٤٠٠ Ci. لقد فتحوا الكبسولة بالقوة وتبعثر مسحوق المادة. في الواقع، تم فرك المسحوق المتألق الأزرق بالجسم من قبل عدة أشخاص، بما

فيهم الأطفال. وبدأ الشعور بالأعراض الأولية للتسمم الإشعاعي خلال أيام. ولجأ المصابون إلى طلب المساعدة من المشافي والصيدليات المحلية وتم علاجهم على أن لديهم مرضاً معدياً ما. تم تشخيص طبيعة المرض في النهاية بعد أسبوعين من حدوث التعرض. لقد وجد ٢٤٩ شخصاً من بين ١١١٨٠٠ شخص تم فحصهم أنهم مصابون بالتلوث. ورغم التطهير، مات خمسة أشخاص، وشخص واحد تطلب بتر أحد الأطراف. ٤٩ مريضاً تطلبوا دخول المشفى ٢١ منهم تطلبوا دخول العناية المشددة. من أجل تطهير المنطقة تم ملء ١٢٥٠٠٠ برميل و١٤٧٠ صندوقاً بالألبسة الملوثة والأثاث والأوساخ والمواد الأخرى. وتم هدم ٨٥ منزلاً. استهلكت الاستجابة الطبية ومراحل التنظيف عدة أشهر حتى اكتملت. في هذه الحالة، كانت هناك مشكلة التعرض ومشكلة التلوث. إن سلاح نشر الإشعاع له أثر مخيف ضخم، لأن فكرة التعرض لمصدر مشع هي بصراحة مرعبة لمعظم الناس. توضح الحادثتان السابقتان في كل من المكسيك والبرازيل الطور المحتمل عند التعرض الحقيقي لسلاح نشر الإشعاع وجهود التنظيف اللاحقة. الشيء المتكرر في هاتين الحادثتين أنه مضى تقريباً شهر بين التعرض وبين التحقق من قبل السلطات حول وجود حالة إسعاف إشعاعي في متناول اليد.[٢٩] تعتمد صفة القتل لسلاح نشر الإشعاع على عدة عوامل بما فيها نوع المادة المشعة المستخدمة، وظروف الطقس والرياح، والسرعة التي تم فيها تفريغ المنطقة المستهدفة. من المحتمل ألا تقتل قنبلة صغيرة أحداً، لكنها ستحصل على أقصى قدر من وسائل الإعلام وتجعل المنطقة غير صالحة للسكن لمدة طويلة من الزمن. وكيفما كانت قابلية القتل، فإن سلاح نشر الإشعاع سوف يحدث الذعر. إن تصنيع سلاح نشر الإشعاع بسيط وغير مكلف على حد سواء. ومن الواضح أنها عملية أسهل من محاولة صنع قنبلة نووية. في مشهد ما، يتم قطع قضيب الوقود الممتد ثم يطلق بسهولة في فتحات التكييف الهوائي، أو على طول طريق النفق، أو من أعلى بناية طويلة في الهواء. إن أي نوع من أجهزة نشر الرذاذ

أو نشر السائل التي تستطيع نشر المادة المشعة في الهواء، أو الماء، أو الطعام ستقوم بهذا العمل. قد يكون التعرض خارجياً أو داخلياً وقد يسبب تأثيرات صحية فورية وطويلة المدى. هذه الطريقة تضحي بالشخص الذي يحمل ويفرغ السطل المليء بمسحوق المادة المشعة أمام المروحة. إن الإرهابي الذي يكون بالقرب من المصدر الإشعاعي الهام سوف يصبح قريباً شهيداً. لهذه الطريقة فائدة فريدة، فهي ليس لها صوت ضجة عالية لكي تشعر السلطات بمشكلة محتملة، فبعد عدة ساعات وحتى أسابيع من التعرض، تظهر الإصابات في أقسام الإسعاف كأول دليل على تحرير المادة المشعة. إذا تم اختيار عوامل مصدرة لأشعة ألفا، فإن العامة والمنطقة تصبح ملوثة تماماً قبل أن تتحقق السلطات من وجود مشكلة. في المشهد الآخر، وهو المشهد الأكثر شيوعاً، يتم جمع النفايات النووية حول أداة متفجرة. وعندما يتم تفجيرها، تنتشر النفايات النووية المشعة. إذا حصل التفجير على ذروة ناطحة سحاب، فإن النفايات المشعة سوف تنتشر بشكل واسع. بينما آلة التفجير الموضوعة عند الطابق الأرضي تؤدي إلى تشتيت أقل. قد يكون حجم سلاح نشر الإشعاع صغيراً بحجم القنبلة اليدوية أو الحقيبة المفخخة أو يكون كبيراً كشاحنة مفخخة. يمكن أن تتم التعبئة في صندوق أو أسطوانة، مثل سخان الماء. بما أن أسلحة نشر الإشعاع تكون بالكامل غير متطورة، فإن أي شخص يمكنه بناء ونقل هذا النوع من السلاح. تتراوح نفايات المواد المشعة من الطين المشع الناجم عن إنتاج قضبان الوقود إلى أجزاء من بطانة المفاعل. لحسن الحظ، يكمن الشيطان في التفاصيل، فلكي يكون السلاح فعالاً، يجب أن يكون هناك نشر جوهري لعامل حديث إلى حد ما. وللحصول على نشر أعظم، يجب طحن المادة لتصبح مسحوقاً ناعماً أو يجب أن تحل في محلول مناسب. يحمل ذلك الأمر مخاطر أساسية أو التضحية من قبل المنظمة التي تقوم بطحن العوامل. كلما كانت المادة نشيطة إشعاعياً أكثر كانت الفرصة لكشفها أكبر وذلك نتيجة لهروب الإشعاع، كانت أكثر خطراً على أولئك

الذين ينقلون المادة ويحضرونها لصنع سلاح نشر الإشعاع أيضاً. إن المقدار العالي جداً من الإشعاع الذي سوف يتلقاه الأشخاص عندما يقومون بجمع المصدر المشع مع المادة المتفجرة، ثم تعبئتها، ومن ثم نقلها إلى منطقة الهدف سيشكل عائقاً كبيراً. ومن المحتمل أن يتعرض الشخص لمقدار مميت، والأهم من ذلك، لمقدار محدث للعجز بسرعة وذلك من مصدر إشعاعي مركز وغير محمي بساتر واقٍ. هناك ثلاث مشاكل أخرى تواجه الإرهابي المحتمل الذي يرغب في بناء واستخدام سلاح نشر إشعاعي.

- تمتلك أصناف المواد الشديدة الإشعاع المثالية لصنع سلاح نشر الإشعاع أنصاف أعمار قصيرة. وهذا يعني أن على الإرهابي أن يستعمل مادة القنبلة مباشرة بعد شرائها.

- إن سلاح نشر الإشعاع ذا الغلاف شديد الإشعاع يكون حاراً فعلياً، حيث إن النظائر المشعة العالية الشدة تطلق كمية كبيرة من الحرارة كافية لإعطاء وقود للمولدات الحرارية في المسارات الفضائية.

- يتطلب الأمر كميات كبيرة من ساتر الحماية لمنع كشف المادة، حيث قد يتطلب ذلك أكثر من ٤٥٠٠ كيلوغرام من الساتر الرصاصي. هذه كتلة كبيرة تعيق الحركة. مع ذلك، هناك على الأقل مجموعة واحدة من الإرهابيين كانت قد بنت سابقاً سلاح نشر إشعاعي، لذلك فإن التهديد له مصداقية كبيرة. في عام ١٩٩٥م، ترك المتمردون الشيشان حاوية من السيزيوم المشع Cs^{137} في منتزه مشهور في موسكو. ولإعطاء المصداقية لتهديدهم بامتلاكهم مثل هذا السلاح، أعلن جهراً قائد الشيشان شاميل باساين عن مكان طمر القنبلة. ثم قام خبراء تفكيك القنابل الروس بإزالة هذه القنبلة.[٣٠] تم القبض على عبد الله المجاهيوار في ٨ أيار عام ٢٠٠٢م في مطار شيكاغو الدولي. وكانت معه وثائق توضح طريقة صنع سلاح نشر الإشعاع بشكل ظاهري. يبدو أن إدارة الرئيس بوش قد شكت بأن شبكة القاعدة التابعة لأسامة بن لادن قد

حصلت مسبقاً على مثل تلك المواد المشعة مثل السترونتيوم ٩٠ (Sr^{90}) والسيزيوم المشع.Cs^{137} عثر ضباط الجمارك في أوزباكستان عام ٢٠٠٠م على عشرة حاويات مبطنة بالرصاص في شاحنة بعد أن رصدتها كاشفات الإشعاع.[٣١،٣٢] كان السائق الإيراني يحمل ظاهرياً Sr^{90} إلى باكستان بأوراق مزورة. وكانت مدينة كويتا الباكستانية وجهته المزعومة. تعتبر مدينة كويتا نقطة العبور الرئيسية نحو الجنوب الأفغاني، والتي تعرف بكونها ملجأ للإرهابيين. وفقاً لتقارير منظمة الأمم المتحدة، اختبر العراق سلاح النشر الإشعاعي من مقدار طن واحد عام ١٩٨٧م. ويبدو ظاهرياً أنهم تركوا هذا المشروع بسبب مستويات الإشعاع التي لم تكن قاتلة بشكل كاف.

الخلاصة

كما لوحظ سابقاً، يشعر معظم مقدمي الخدمة الطبية أنهم لن يواجهوا أبداً احتمال حادث إشعاعي خطير. إن زيادة استعمالنا ونقلنا للنظائر المشعة وضعت جميع أقسام الإسعاف في خطر كونهم متورطين في حادث التسرب نووي. إن القدرة الحالية للإرهابيين على استخدام أسلحة نووية مسروقة، أو أسلحة نووية مرتجلة، أو أسلحة نشر وتشتيت الإشعاع يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار كونها تهديداً حقيقياً في كل مدينة. وحتى لو لم تكن المدينة هدفاً لمثل هذه الآلة النووية، يبقى هناك احتمال كبير أن يجلب اللاجئون القادمون من منطقة معرضة للإشعاع معهم التلوث للمناطق المحيطة. وقد تصبح المدينة ملوثة أيضاً بسبب سحابة الغبار الذري الساقط من جراء الآلة النووية المتفجرة. إن أكبر تهديد محتمل هو سلاح نشر وتشتيت الإشعاع. تقنياً توجد أسلحة سهلة التصنيع ويمكن صنعها من مواد متوفرة مسبقاً للإرهابيين. إن شراء النفايات النووية من السوق السوداء من المحتمل أنه قد حصل من قبل، وأن المتفجرات موجودة في متناول يد الإرهابيين من قبل. وإذا أخذنا بعين الاعتبار أن هناك على الأقل أمة

واحدة اختبرت مع سلاح نشر الإشعاع عدة سنوات مضت، فإنه من المحتمل أن التصميم متوفر لدى الإرهابيين هذا اليوم. قد تكون الأجهزة مسبقة الصنع متوفرة أيضاً في السوق السوداء من تلك المصادر ومصادر ولاية أخرى. تفترض تصريحات المصادر العامة والمحفوظة أن استخدام الأسلحة النووية تهديد جوهري في هذا الوقت. يشعر المؤلف أن الخطر كبير، وأن ثقة المؤلف في المصادر كبيرة. تؤكد الجهود الحديثة من قبل الإدارة لإيجاد تسهيلات صناعية من أجل هذه الأدوات أن السلطات تدعم أيضاً هذا التحليل والنتيجة. يجب تحديث سياسة إسعاف حالات الإشعاع لدى المنشأة الطبية الإسعافية الإشعاعية من قبل المدير أو المدير الطبي وذلك على أساس سنوي. وقد يتم تدريب أفراد الطاقم الطبي على معالجة حوادث الإشعاع من خلال التوجيه الأولي في بعض خدمات المشفى والطوارئ. لسوء الحظ، الشيء الذي لا يستخدم يضيع، والتدريب على الإسعافات الإشعاعية ليس استثناءً. يجب على جميع مقدمي الخدمات الإسعافية أن يتلقوا التدريب الأولي والسنوي فيما يتعلق بمعالجة ضحايا الحوادث الإشعاعية.

المراجع

1. Glasstone S, Dolan PJ: *The Effects of Nuclear Weapons,* ed 3. Washington, DC, US Department of Defense, 1977.
2. Walker RI, Cerveny TJ: *Medical Consequences of Nuclear Warfare.* Falls Church, VA, Office of the Surgeon General, 1989.
3. *Medical Effects of Ionizing Radiation Course.* Uniformed Services University for the Health Sciences, Bethesda, MD.
4. Federal Emergency Management Agency: *Course for Radiological Monitors.* Washington, DC,US Government Printing Office, 1979.
5. Fabrikant JI: The effects of the accident at Three Mile Island on the mental health and behavioral responses of the general population and nuclear workers. *Health Phys* 1983;45:579-586.
6. Anonymous: Chernobyl Accident, http://www.uic.com.au/ nip22.htm (Accessed July 12, 2005).

7. Geiger HJ: The accident at Chernobyl and the medical response. *JAMA* 1986;256:609-612.
8. Bores RJ: The scope of nuclear regulatory commission requirements for arrangements for medical services for contaminated injured individuals. *Bull NY Acad Med* 1983;59:956-961.
9. Stasiak RS, Stewart CE, Redwine RH: Symptoms and treatment of radiation exposure. *Emerg Med Serv* 1986;15:21-26.
10. Casarett AP: *Radiation Biology.* Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1968.
11. Taylor TB: Third generation nuclear weapons. *Sci Amer* 1987;256:30-39.
12. Anonymous: *Basic Radiation Protection Criteria.* Bethesda, MD, National Council on Radiation Protection and Measurements (Report No 39), 1971.
13. Littlefield LG, Joiner EE, Colyer SP, Frome EL: Radioprotective chemicals as tools for studying mechanisms of radiationinduced chromosome damage in human lymphocytes, in *Chromosomal Alterations: Origin and Significance* (G. Obe and A.T. Natarajan, eds. with contributions by F. Adlkofer et al.). New York, Springer-Verlag, pp. 132–139, 1994.
14. Wing S, Shy CM, Wood JL, Wolf S, Cragle DL, Frome EL: Mortality among workers at Oak Ridge National Library. Evidence of radiation effects in follow-up through 1984. *JAMA* 1991;265:1397–1402.
15. Baxter DW, Sullivan MF: Gastrointestinal absorption and retention of plutonium chelates. *Health Phys* 1972;22:785.
16. Tompsett SL: Factors influencing the absorption of iron and copper from the alimentary tract. *Biochem J* 1940;34:961.
17. Jacobs AG, Rhodes DK, Peters H, et al: Gastric acidity and iron absorption. *Brit J Haemat* 1966;12:728.
18. Ramden D, Passant FH, Peabody CO, Speight RG: Radioiodine uptakes in the thyroid studies of the blocking and subsequent recovery of the gland following the administration of stable iodine. *Health Phys* 1967;13:633.
19. Saenger EL: Radiation accidents. *Ann Emerg Med* 1986;15:1061-1066.
20. Fowinkle EW, Sell SH, Wolle RH: Predistribution of potassium iodide: The Tennessee experience. *Pub Health Rep* 1983;96:123-126.
21. Lincoln TA: Importance of initial management of persons internally contaminated with radionucleides. *Am Ind Hygiene Assoc J* 1976;16-21.
22. Anonymous: *Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionucleides.* Washington, DC, National Council on Radiation Protection and Measurements (Report No 65), 1980.
23. Saenger EL: Radiation accidents. *Ann Emerg Med* 1986;15:1061-1066.
24. Nuclear weapon radiation effects. Federation of American Scientists, http://www.fas.org/nuke/intro/nuke/radiation.htm (accessed November 3, 2002).
25. Bunce N, Hunt J: The Mexican radiation accident. The University of Guelph, 1984, http://helios.physics.uoguelph.ca/ summer/scor/articles/scor24.htm (accessed November 4, 2002).
26. Marshall E: Juarez: An unprecedented radiation accident. *Science* 1984;223: 1152-1154.

27. Zylbersztajn A: Not to commemorate, but to remember: 10 years since the Goiania nuclear accident. *Int Nwsltr Phys Educ* 1997;35:1.
28. Ortiz P, Friedrich V, Wheatly J, Oresegun M: Lost and found dangers: Orphan radiation sources raise global concerns. *IAEA Bulletin* 1999;41:18-21.
29. Lloyd D, Clark M: Editorial: Déjà vu again. *Radiological Protection Bulletin* 2000;220.
30. AFIO weekly intelligence notes. Association of Former Intelligence Officers, April 28, 2000, http://www.afio.com/ sections/wins/2000/2000-17.html (accessed November 2, 2002).
31. West J: Atomic haul raises fears of bin Laden terror bomb. April 23, 2000.
32. AFIO weekly intelligence notes. Association of Former Intelligence Officers, April 28, 2000, http://www.afio.com/ sections/wins/2000/2000-17.html (accessed November 2, 2002).

obeikandl.com