

reac/ts 輻射緊急事件支援及訓練中心

The Radiation Emergency Assistance Center/Training Site

The Medical Aspects of Radiation Incidents
輻 射 傷 害 醫 療 處 置

行政院原子能委員會 印製
衛生福利部臺北區緊急醫療應變中心 譯

致謝

本手冊譯自美國能源部國家核子保安總署(DOE／NNSA)輻射緊急事件支援及訓練中心(REAC／TS)出版之「The Medical Aspects of Radiation Incidents」第三版。

輻射緊急事件支援及訓練中心(REAC／TS)，為美國能源部指定之國際緊急輻射 / 核子傷害處理之領導指揮中心，提供國際上發生核子或輻射災害的國家相關醫療諮詢與協助，配置具有輻傷醫療、輻射體內/外汙染除汙處置豐富經驗之人員及完備之儀器設備，提供全年無休(24/7)輻射緊急應變服務，同時定期提供相關訓練服務，其出版之「The Medical Aspects of Radiation Incidents」手冊可作為醫護人員進行輻傷醫療處置之重要參考。

在此，特別感謝美國能源部國家核子保安總署(DOE／NNSA)授權翻譯，手冊內容係由衛生福利部臺北區緊急醫療應變中心主譯，行政院原子能委員會進行校稿及印製。感謝衛生福利部臺北區緊急醫療應變中心之鼎力相助。

104.05.22 印製

前言

輻射緊急事件支援及訓練中心(Radiation Emergency Assistance Center/Training Site,簡稱 REAC/TS)是由美國能源部所資助,於 1976 年成立,提供輻射事故相關之專業醫療處置的單位。

REAC/TS 為全年無休 24 小時運作，具有處理美國國內和國際輻射緊急事件之能力，其成員包括醫師、護理師與保健物理專家，具有處理輻射傷害/疾病、輻射劑量評估及除污能力和經驗。

REAC/TS 的細胞遺傳學生物劑量測定實驗室(Cytogenetic Biodosimetry Lab; CBL)有能力執行雙中節或其它染色體分析，可進行輻射生物劑量測定。

REAC/TS 受能源部委託，進行輻射事故案件的登錄維護，以及輻射污染螯合劑 DTPA 與普魯士藍藥劑的管理。此外，REAC/TS 也透過定期的設施內的訓練課程和在外舉辦的特別訓練，提供其專業領域之醫學繼續教育。

REAC/TS 是美國能源部國家核子保安總署(Department of Energy/National Nuclear Security Administration; DOE/NNSA)的應變資產，可以提供 24 小時的治療服務和諮詢協助(白天可撥 865-576-3131，或在正常營業時間後聯繫美國能源部橡樹嶺運營中心，電話 865-576-1005。)

REAC/TS 是由 Albert L. Wiley 醫學博士(主管)及 Doran M.Christensen 醫師(副主管)所領導。

橡樹嶺科學教育機構(Oak Ridge Institute for Science and Education; ORISE)是由美國能源部支持設立，專注於輻射職業傷害與健康風險研究、環境清理評估及輻傷緊急事件回應等，並執行培養下一代的教育訓練工作。
ORISE 及相關計畫是美國能源部藉由合約委辦方式，由橡樹嶺聯合大學(Oak Ridge Associated University; ORAU)進行管理和經營。ORAU 成立於 1946 年，是 98 所學院與大學所共同組成的聯盟。

本文件是根據美國能源部與橡樹嶺聯合大學之間之合約擬定(編號 DE-AC05-06OR23100)。此文件是由 Stephen L. Sugarman 碩士、Ronald E.Goans 醫學博士、A.Seaton Garrett 醫師和 Gordon K. Livingston 博士來共同制定。類似的軍事輻傷醫療操作指引可以參考 2009 年由「軍事輻射生物學研究機構(Armed Forces Radiobiology Research Institute; AFRRI)」出版之第三版「輻射傷患醫療處置 Medical Management of Radiological Casualties」一書。

輻 射 傷 害 醫 療 處 置

輻射緊急事件支援及訓練中心
郵政信箱 117，MS-39
橡樹嶺，TN37831
辦公室：(865)576-3131
24 小時諮詢：(865)576-1005
www.orise.orau.gov/reacts

目錄

第一章──簡介及輻射基礎知識

醫療工作人員會面對各式各樣的傷病患，而輻射曝露結合放射性物質污染，也是其中一種可能的情境。這本袖珍指南可以提供醫師和其他醫療專業人員，在遭遇這類情況時，給予傷病患適當醫療處置所需的基本資訊。

在輻射事件的醫療評估中，最重要的考量因素是受害者的「醫療穩定情形(medical stability)」。其次，在此緊急狀況下，瞭解所處狀況的嚴重度與所需資源也是重要的考量因素。

小規模—事件發生在實驗室、醫院、核能電廠等等。牽涉到少量放射性物質，可能會造成一到數名人員的曝露和/或污染

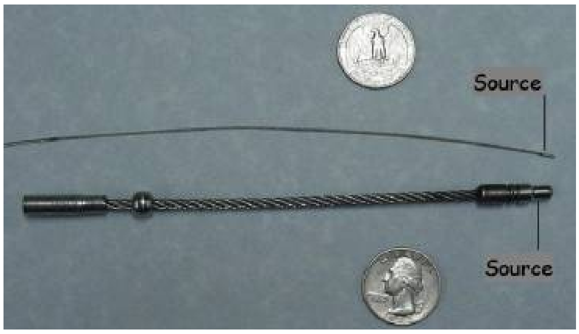
大規模—事件牽涉到相對大量的放射性物質，可能會造成大量民眾的曝露或污染。例如，放射性武器的恐怖攻擊、核子武器爆炸和大規模的核能電廠事故。

一般而言，高劑量的急性體外曝露對人類的威脅最大，而低劑量的體內或體外污染一般不會造成太大的風險。已知有輻射污染之區域，都應該在應變人員進入前先做好評估，且需限制人員在高輻射劑量區域的時間。在所有緊急事件中，應變人員的安全都是最優先的考量。通常處理一個輻射災害污染傷患，對於應變人員所可能產生的危害是很小的。相關內容可參閱本手冊「第六章：除污技術」對於除污技術的相關指引。

國家輻射防護與度量委員會(National Council on Radiation Protection and Measurements；NCRP)於 2001 年發行的第 138 號報告「涉及放射性物質之恐怖攻擊事件的處理」中，討論了各類人員可能曝露在輻射或放射性物質污染的情境。以下是一般公認，可能出現放射性相關之恐怖攻擊的情境：

輻射曝露裝置(Radiaton Exposure Devise; RED)：

一種利用封在容器中的高放射性物質，使鄰近人員受到高輻射劑量曝露的裝置。某些商業用、具有放射性物質的設備就可以成為



輻射曝露裝置，例如在民間業界所使用，工業用照射線源(如右上圖，下方)，就可以作為一個輻射曝露裝置。醫療上近接治療(brachytherapy)所用的射源(右上方)也是常見的來源。

放射性擴散裝置(Radiological Dispersal Devise; RDD)：

一種會造成放射性物質散播的裝置，可藉由人員吸入或攝入放射性物質，造成人員體內和體外的輻射污染。放射性擴散裝置通常會用爆炸裝置進行放射性物質的散播，除了造成放射性物質污染外，同時也會造成爆炸和熱傷害。此外，被輻射污染的環境也會使醫療應變和人員疏散作業更加複雜。

簡易核子裝置(Improvised Nuclear Devise; IND)：

簡易核子裝置是由恐怖分子所製作，能產生核爆的裝置。儘管完成度不一，但是簡易核子裝置仍等同於一個核子武器；和原子彈一樣，爆炸、熱和輻射的能量釋放形式是造成傷害的原因。簡易核子裝置會使人員接受高劑量體外輻射，並透過創傷、吸入、食入和皮膚附著造成輻射污染。如果簡易核子裝置未能引發核爆，炸藥的爆炸仍可散播放射性物質到四周環境，使之具有放射性擴散裝置之效用。

某些輻射工作場所的作業人員，可能出現遭受過多輻射劑量或輻射污染的情況，因而需要進行醫療評估和除污動作。大量的放射性物質可能於一個核子武器爆炸、使用放射性擴散裝置，或發生核子事故後，沈積於地表。

除此之外，作業人員也可能在使用工業用射源、在核能工業的日常運作過程，因為放射性物質的儲存或運送意外事件，而受到輻射曝露或污染。

輻射劑量限制值之規劃

美國環境保護署(EPA)已為特定有風險之任務(包含人命救助行動等)，提出輻射劑量限制建議值(dose limits)，這部份可以參閱 EPA 400-R-92-001『核子事件的防護行動指引與防護行動手冊(Manual of Protecive Action Guides and Protective Actions for Nuclear Incidents)』。操作手冊規範，工作人員為了保護重要的財物資產，最高限值可達 100 毫西弗，為了搶救生命，限值可以達到 250 毫西弗。手冊同時還說明，假如這些應變人員自願接受大於 250 毫西弗的劑量以搶救生命，這些自願者需是非懷孕的成年人，並且需被充分告知所將涉及的風險。這些緊急應變所規定的劑量為一生僅一次的曝露劑量，且不能加在原本的職業曝露劑量上。ICRP 第 103 號出版物(2007)中建議，若救助他人的利益超過救助風險，則拯救生命的救助行為並無劑量上限之限制(但需告知自願者)。而其他具急迫性之救援行動，上限不可超過 1000 毫西弗或更低。其餘救援行動的曝露劑量則建議限制低於 100 毫西弗。

輻射的種類

輻射的五種重要基本類型：

1. **α 粒子：**由兩個質子和兩個中子組成的帶電粒子，通常由重原子核例如鈾、鈽和鋂所釋放出來。

   α 粒子穿透性低，無法散播到遠處(在空氣中射程大約 5 公分)，在皮膚的射程不超過幾微米(μm)(基本上，無法穿透皮膚的死皮層)。薄的衣服、甚至一張的筆記本內頁，即可有效的屏蔽 α 粒子。放射性同位素放出 α 粒子在體外造成的輻射傷害基本上可以忽略，但若是吸入或攝入而造成體內污染，就會很嚴重。由於相對較大的質量和帶電量，α 粒子有較大的游離(ionization)能力，因而可能產生潛在生物傷害。所以，對於會產生 α 粒子的放射性同位素，法規上的限制也會更加嚴格。

2. **β 粒子：**從同位素例如氚(tritium)和鍶(Sr)-90 之原子核發射出的電子。β 粒子能在組織內穿透短距離(幾毫米)，及在空氣中傳播達數公尺距離。大多數 β 粒子可被一層薄的塑膠片擋住，一個全罩式呼吸器的面罩部份對多數 β 粒子的阻隔就相當有效。若大量會釋出 β 粒子的放射性物質沉積在皮膚，會損傷皮膚基底

層，通常被稱為輻射灼傷。β粒子的吸入或攝入對於輻射體內污染也佔重要的角色。

3. γ射線：一種可從不同的放射性同位素釋放出的非粒子性電磁輻射(波長比紫外線更短)，並能夠產生游離。γ射線是從原子核中發射出來，能量很高，並且可以輕易穿透物質；因此相較於α粒子，γ射線的游離化效率不佳。也因此對攝入γ核種輻射之常規限值通常比α核種放射性同位素限制少。由於它的高穿透性，生物體外曝露γ輻射可能會導致體內器官損壞，而造成個體損傷。因此，γ射線的體外照射是特別被注意的問題。密度高的材料如鉛，則可以被用來屏蔽γ射線。

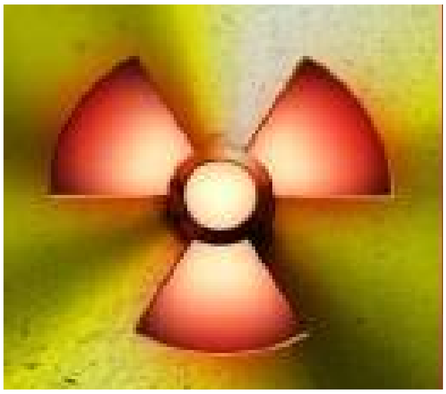
4. X 射線：來源與γ射線不同，發生在原子核外,性質則與γ射線相同。

5.中子：不帶電的粒子，其重要性為中子會在核分裂及一些非破壞性檢測的過程中放射出來。中子不像上述四種基本游離輻射那麼常見,但中子比γ射線對於未來影響會高出 3 到 20 倍相關之風險。中子也是這五種游離輻射中，唯一有能力讓受曝露物體轉變為放射性物質的輻射(中子活化)。

曝露的途徑

一個人可以從體外(例如透過沉積在皮膚上的放射性物質或產生輻射的設備)，或由攝入或吸入放射性物質接受到輻射劑量。攝入或吸入放射性物質一段時間後會造成全身或特定器官的體內污染，但以這種方式接受到的劑量通常不會快速致死。

輻射曝露與輻射污染



當一個人接受游離輻射照射，即稱為受到「曝露」，就好像當一個人被閃光燈照到，而曝露在閃光燈光線之下一樣。在輻射曝露的情況下，沒有物質轉移。也就是說，受體外輻射曝露的病人身上並不會殘留放射性物質，對治療小組而言不會有輻射危害的問題。

當一個人被偵測出體表/體內帶有放射性物質即被認為受到輻射「污染」。需注意的是一個人雖沒有被 α 粒子污染，但接觸到如 Am(鋂)-241 這類核種，也會放出 α 粒子。對於輻射曝露和污染的一個很好的舉例，是想像一個具有放射性的嬰兒爽身粉密封罐，這罐嬰兒爽身粉內容物會放出 γ 射線，所以握住罐子的人會受到穿透罐壁的輻射線影響(曝露)，但手上卻不會沾到粉末(污染)。但一旦封口破了，有爽身粉洩漏，這個人手上就會沾到帶放射性的粉末，也會進一步造成個體的污染。

控制輻射污染的方式，與上面例子控制嬰兒爽身粉洩漏情境非常的類似，採取的是基本常識(common sense)的做法，亦即按照常理來限制放射性物質的擴散。適當使用防護衣、管制污染區的出入、儘量減少放射性物質擴散到空氣中和適當的人員監控都是常見的作法，控制污染的擴散也有其他的方法，例如使用負壓、避免可能會造成懸浮物質的動作、覆蓋或移走污染區內不需要的物品等等。污染控制是一個必要過程，固然重要，但通常也不必過於複雜。

單位

美國對於放射性活度(activity)的基本單位是居里(Ci)，定義為 3.7×10^{10} 貝克(Bq)。1 貝克，定義為每秒鐘衰變一次，為最基本的國際單位(法國，國際放射協會)。活度是量化放射性物質「存在量」的概念，傳統單位如盎司、公克等不應該被用來量化放射性物質的存在量。例如:1 公克的 Co-60 活度大約為 1,100 居里，而 1 公克的 U-235 活度則為 2.1 微居里。

常用的活度單位換算		
1 Ci = 37 GBq	1 mCi = 37 MBq	1 μCi = 37 kBq
1GBq = 27 mCi	1 MBq = 27 μCi	1 kBq = 27 nCi
G = giga (1×10^{9})	M = mega (1×10^{6})	k = kilo (1×10^{3})
m = milli (1×10^{-3})	μ = micro (1×10^{-6})	n = nano (1×10^{-9})

活度降低到初始值的一半所需的時間稱為半衰期(half-time)，半衰期無法經由外部力量改變。

輻射曝露(exposure)則定義為輻射在單位重量空氣所產生的電子游離量，美國的單位為侖琴(R)，而國際單位(SI)則是庫倫/公斤。這個曝露單位是「空氣中輻射造成的電子游離量」，因此就技術上來說，該能

量尚未進入到組織中，所以和醫療並沒有很大的關係。一旦能量進入到組織中，則稱為「吸收劑量」。

「吸收劑量」是測量有多少游離輻射儲存(deposit)於組織中，美國的單位是雷得(rad)，1 雷得相當於 100 爾格(erg，10^{-7} 焦耳)能量儲存於一公克的組織。SI 制吸收劑量的單位是戈雷(Gy)，相當於每一公斤的組織存有一焦耳的能量。

在輻射醫療相關的急性效應中，普遍認為最適合的單位是戈雷(將在「急性輻射症候群」和「局部輻射傷害」的章節中討論)，因為急性效應和「有多少能量進入到一個特定的身體組織」有很大的關係。不同輻射種類對於未來風險的差異(例如在未來造成癌症的風險)約略可以用一個射質因素(quality factor；QF，用於等效劑量(dose equivalent；吸收劑量與射質因素之乘積)，在美國使用)或輻射加權因素(W_R，用於等價劑量(equivalent dose)，國際單位)表達。換另一種方式來看，這就是「一單位的某種類型的輻射產生了某個程度的傷害，而另一種類型的輻射要產生同等程度的傷害需要多少劑量」之間的換算常數。

1 Gy=100 rad，1 cGy=1 rad

射質因數(QF)和輻射加權因數(W_R)的差異可以在國際放射防護委員會(ICRP)報告中找到定義。簡單來說，QF 和 W_R 代表某一種輻射與標準輻射(γ、X 射線，其 W_R 和 QF 為 1)相較之下風險增加的倍數。

西弗(Sv)這個單位是由戈雷(Gy)乘上 W_R 或 QF 所產生的，西弗對應於美國的單位為侖目(rem)。X 射線或 γ 射線的輻射加權因數(W_R)是 1，因此以 γ 射線為例：

100 rad x 1 =100 rem，或 1 Gy x 1 =1 Sv

α 粒子的 W_R 是 20，所以 1 雷得(或戈雷)的 α 粒子束等於 20 侖目(或西弗)。β 射線的 W_R 為 1，而中子的 W_R 則介於 3 到 20(取決於中子的能量)。

職業劑量限制值是以侖目或西弗作為單位，主要用於風險限制與確保劑量低於引發急性效應之閾值。有時候以法規上的劑量限制值做為比較，有助於解釋病患所受到的輻射劑量程度(例如幾倍於法規限制年劑量)，或有助於與其它相關團體溝通。

表 1A—年劑量限度(美國 NRC)

	侖目(rem)	毫西弗(mSv)
非職業限制		
一般人	0.1	1
職業限制		
全身(體內+體外)	5	50
任何個人器官	50	500
眼球水晶體	15	150
皮膚	50	500
四肢	50	500
胎兒劑量(宣告懷孕)	0.5	5

表 1B—ICRP 第 103 出版物之一般建議

	侖目(rem)	毫西弗(mSv)
非職業限制		
全身(體內+體外)	0.1	1
眼球水晶體	1.5	15
皮膚	5	50
職業限制		
全身(體內+體外)	2	20*
任何個人器官	n/a	n/a
眼球水晶體	2	20★
皮膚	50	500★
四肢	50	500★
胎兒劑量 (宣告懷孕—剩餘孕期)	0.1	1★

＊我國的標準為每連續五年週期不得超過 100 毫西弗，且單一年內不得超過 50 毫西弗。

★與我國標準相同。

許多輻射偵檢儀器，如常見的蓋革偵檢器和游離腔，所使用的單位為侖琴(R)或毫侖琴(mR)。侖琴是在空氣中電子游離的單位。舉例來說，游離腔是一個充滿空氣的偵檢器，而游離事件會在偵檢器內產生電荷，因此很適合以侖琴作為量測單位。對於γ射線而言，1 侖琴≒1 雷得≒1 侖目。所以，雖然單位是不同的，但可以互相轉換使用。對於 β 射線而言，使用游離腔來偵測時要考慮倍增因子(multiplication factor)，保健物理師可以幫助處理相關專業問題。

γ曝露率常數

一同位素之γ曝露率常數是 1 居里(Ci)的點射源外一公尺的γ射線曝露率(侖琴/小時)(或國際單位制的毫西弗及百萬貝克)

恐怖組織有興趣的三種常見的同位素為：

- Ir-192
- Cs-137
- Co-60。

以下是這些放射性同位素的γ曝露率常數：

^{60}Co	一公尺距離下每居里每小時 1.3 倫琴
	一公分距離下每百萬貝克每小時 3.51 毫西弗
^{137}Cs	一公尺距離下每居里每小時 0.33 倫琴
	一公分距離下每百萬貝克每小時 0.89 毫西弗
^{192}Ir	一公尺距離下每居里每小時 0.48 倫琴
	一公分距離下每百萬貝克每小時 1.30 毫西弗

除了緊急醫療評估，以下兩個原則在處理輻傷病人的醫療管理上相當重要：(1)儘早評估輻射曝露/污染事件的程度；(2)辨識出有問題的同位素。

這兩個原則對於後續治療決策有很大的影響。

案例

一個工人進入地上放有 100 居里(3.7 TBq)Ir-192 射源的工地。這種通常用於工業照相的射源，是放射線技師不小心留下的。此人在射源 1 公尺的距離左右工作，接近射源的時間約 15 分鐘。請問他接受的全身劑量為何？

解答

一個點射源造成的劑量約略是γ曝露率常數乘上射源活度再乘以所接觸時間，再除以人員和射源距離的平方(以公尺或公

分為單位)。如上表格所示，Ir-192 射源的 γ 曝露率常數為一公尺距離下每居里每小時 0.48 R，或一公分距離下每百萬貝克(MBq)每小時 1.3 毫西佛(mSv)，因此，計算如下:

劑量 = 0.48 侖琴/小時/居里×100 居里×0.25 小時/（1 米）^{2}=約 12 雷得

= 1.3 毫西弗/小時/MBq×3.7E6MBq×0.25 小時/（100 公分）^{2}=約 120 毫西弗

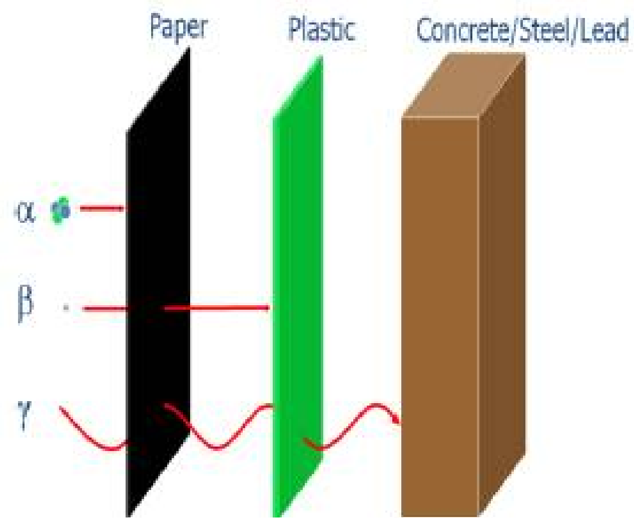
在討論「急性輻射症候群」時，上面的這個事故，受害者在醫學上不會有什麼明顯的急性症狀出現。對於這個傷患，在醫學上讓他心安反而是治療重點。雖然這是一個粗略的估計，但是對於沒有很精確的個人與射源的距離和接觸時間而言已經足夠。對於點射源而言，輻射劑量與輻射源的距離平方成反比關係，這也被稱之為平方反比定律(inverse square law)。也就是說，「若您與射源距離增加一倍，輻射劑量就會降低為原來的四分之一」。因此，重要的是要盡量減少曝露時間間距，並且盡量增加與輻射源的距離。舉例來說：

1 公尺處劑量=～12 雷得（120 毫戈雷）
2 公尺處劑量=～12 雷得/2^2=3 雷得（30 毫戈雷）
3 公尺處的劑量=～12 雷得/3^2=約 1.3 雷得（13 毫戈雷）

負責治療的醫師與保健物理師應該保持開放的態度來溝通，以確保劑量計算和醫學上輻射造成前驅症狀/徵候的一致性。在輻射事故中的劑量、時間和距離的預估和醫療上的結果不一致的話，則可能是錯誤的，應該努力解決這類的問題。對於這類事故調查，隨著時間的進展，發現新的事證或出現和最初的回憶不同的狀況也是可能發生的情況。

個人防護

ALARA(As Low As Reasonably Achievable；合理抑低)是人類關於游離輻射防護的基本理念。其基本意涵是：一個人應該避免不必要且無利益的輻射曝露風險。時間、距離和屏蔽是最重要的考量。在 REAC/ TS，我們喜歡將第四個項目—數量(quantity)添加到列表中。這四個概念都可以同時使用。舉例來說，如果一個人增加和射源間的距離，實際上也是增加更



多的屏蔽(是的，空氣是屏蔽)。一個人在污染區域內停留更短的時間，或移動至離輻射源更遠的距離(距離，也是屏蔽)。

當一個人在污染區域內減少放射性物質數量，他們也是在移動射源使其遠離。正如人們所知，保護自己免受游離輻射影響所倚靠的還是「基本常識」：盡量減少身處在輻射源周圍的時間，增加與輻射源距離，把「屏蔽」放在目標與輻射源間，以及/或者乾脆去除輻射源。應用適當的人員劑量計以監控體外的劑量，以確保能達到合理抑低。

劑量計的種類包括膠片劑量佩章、熱發光劑量計(TLD)和閃爍偵檢器(OSLD)。此外，也有直接讀出劑量計(DRDs)可供選擇。TLD、OSLD 和膠片佩章必須透過特定的設備讀取，DRDs 可供持續追蹤並計算累積劑量。劑量計類型應被探討並選擇適當類型以符合個別需求。

不只是工業用或醫療用輻射源會造成區域污染，放射性擴散裝置的使用、核子裝置的爆炸或其他原因也會造成區域的輻射污染。一個人在無適當防護裝備的狀況下穿過污染區域，就可能受到體外污染。舉例來說，假設當一個輻射意外事件

造成放射性物質漂浮在空氣中，或在污染區的人身上有開放性傷口，就有可能變成體內污染。輻射污染的傷患一般不會對醫護人員造成輻射曝露的危險。因此，醫療人員必須作好準備，提供及時的治療給同時受到輻射曝露或輻射污染及傳統創傷的傷患。

防護衣的作用是防止醫療人員體外污染。防護衣的目的簡單地來說就是用來隔離個人皮膚或衣物上的放射性物質。舉例來說，紙製工作服、布製工作服與手術服都可以拿來當作防護衣。因為大多數人都不習慣穿額外的多層衣物工作，因此熱中暑應列入考量。醫療人員應進行污染監測。如果需要，在治療傷患及幫傷患除污後，醫療人員本身也需要除污。

標準規格的微粒防護口罩(呼吸面罩)可以對大部分放射性物質的攝入和吸入提供良好的防護。由於這些呼吸保護裝置通常設計用於過濾顆粒狀物質，因此氡氣和氚氣仍可以通過過濾裝置。然而，短時間曝露於這些核種對人體醫療上的影響並不顯著。請記住，手術用口罩無法用於呼吸防護──它們是用來保護病人的。

第二章——初期醫療應變

醫療檢傷分類應基於傳統的外科和內科方面的考慮進行(見附錄 A：傷病患處理流程)。一旦傷患病情穩定，即可開始進行輻射劑量估計與輻傷相關的後續治療計畫。為了訂定一個有效的治療計畫，及早估計劑量強度是是必要的。正如前面所討論的，正確使用 γ 劑量率常數是用距離來估計輻射劑量的簡便方法。只需要知道射源的活度(A)、同位素種類和所對應的 γ 劑量率常數(Γ)、受害者和射源距離(m)、及停留時間(t)就可以估計出劑量。下面的公式可用於劑量計算，記得要確定算式中美制單位和公制單位之間的一致性。

$$Exposure = \frac{(A)(\Gamma)(t)}{(m)^2}$$

可使用 NCRP 第 40 號報告中附錄 B-表 6 來估計接觸劑量率。下面是該表的摘錄。

表 2A—劑量資訊

Nuclide (核種)	Gamma Constant (γ 劑量率常數)	mSv/min per GBq* Surface (毫西弗/分鐘每十億貝克*) (表面)	mSv/min per GBq** 1cm Tissue Depth (毫西弗/分鐘每十億貝克**) (1 公分組織深度)
Cs-137	0.89 mSv/MBq-hr at 1 cm	30.5	7.6
Co-60	3.51 mSv/MBq-hr at 1 cm	164.6	30.8
Ir-192	1.30 mSv/MBq-hr at 1 cm	48.7	11.6

* 主要是由於偵檢器的 capsule wall 所產生的電子增建校應。

**由 NCRP 第 40 號報告中的附錄 B，表格 6 轉換而來。

表 2B—劑量資訊

Nuclide (核種)	GammaConstant (γ 劑量率常數)	R/min per Ci* Surface (侖琴/分鐘 每居里) (表面)	R/min per Ci** 1cm Tissue Depth (侖琴/分鐘 每居里*) (1 公分組織深度)
Cs-137	3.26 R/mCi-hr at 1 cm	113	28
Co-60	13 R/mCi-hr at 1 cm	609	114
Ir-192	4.8 R/mCi-hr at 1 cm	180	43

* 主要是由於偵檢器的 capsule wall 所產生的電子增建校應。

**由 NCRP 第 40 號報告中的附錄 B，表格 6 轉換而來。

僅受體外曝露而沒有創傷的患者，傷患是否受到全身高劑量輻射曝露可以利用以下兩個判斷標準判別(曝露劑量是否小於 1 戈雷)：嗜中性白血球/淋巴球的比例(N / L)和是否已經發生嘔吐。篩檢分級分數(T)公式如下：

$$T = N/L + E,\quad \text{where } E = 0 \text{ if no emesis; } E = 2 \text{ if emesis}$$

一個正常健康的人，全血球計數中的 N/L 比例約為 2.21。在事件發生 4 小時後，曝露於 1 戈雷以上時 T 會顯著升高。一項研究顯示，對於那些曝露小於 1 戈雷和接受到高劑量輻射傷患的鑑別，此計分法有 89%的敏感度和 93%的特異度(控制組案例數 N=250，輻射組案例數 N=36，中位數劑量為 3 戈雷：REAC/TS 輻射事故登記系統)，最大敏感度和特異度的切入點為 3.7。如果 $T > 3.7$，傷患應該轉介並進一步評估。此項技術對於事故兩個星期後的病患檢傷判斷仍然很有用。

主要的醫療問題

→不管是輻射恐怖事件或工業意外事件的傷患，都需儘速診斷和處理其內外科方面、以及輻射曝露和/或放射性物質污

染方面的問題。在處理輻射傷患時，過去醫護人員未曾接受到在醫學上有顯著意義的急性輻射劑量。雖然醫護人員由於輻傷醫療處置而受到輻射曝露/汙染的情形從未發生過，但仍須將此可能性列入考量。

→輻射劑量不僅可由保健物理師在事件後的早期估算出來，也可從血球細胞計數和醫療病史紀錄來評估(例如，時間和症狀的嚴重程度，事件發生到嘔吐出現的時間......等)。在醫學上顯著的劑量可以在後續用染色體變異分析加以確認或計算，這也是目前輻射生物劑量測定的黃金標準。

→如果可能的話，先取得一全血球與血球分類作為初始基準值，並每 6-12 小時重複做一次檢查。淋巴細胞耗竭與劑量依存度(dose-dependent)、曝露於高劑量的 γ 輻射後的一階動力學(first-order kinetics)和臨界事件(criticality incidents)都有關，而中性白血球/淋巴球比值(N / L)在曝露後最初幾天會增加。兩者都是很敏感的輻射生物劑量指標。

→若事件發生後的嘔吐時間少於 2 小時，則全身有效劑量可能至少為 3 戈雷；如果嘔吐時間少於 1 小時，全身有效劑量

可能超過 4-6 戈雷。相反的，如果在事件發生後 8-10 小時內病人沒有嘔吐的話，則全身有效劑量可能少於 1 戈雷，這是會讓病患覺得心安的。需要注意的是，相較於精神心理因素所誘發的嘔吐，因輻射劑量造成的嘔吐往往會持續一段時間。而當病患確定醫學上輻射劑量不高而解除擔憂，精神心理因素所誘發的嘔吐就會終止。

→急性、中度至嚴重輻射曝露(全身有效劑>3 戈雷)傷患的醫療處置，應強調儘快的給予細胞聚落刺激因子(CSF)，以加強造血功能。儘管會有些變異性，這些化合物也會降低輻射造成的嗜中性白血球減少的時間與刺激嗜中性白血球恢復。

→目前經 FDA 核可，用於處置的治療用造血及聚落刺激因子有：重組形式的顆粒性白血球聚落刺激因子(G-CSF，Neupogen®)、顆粒性白血球-巨噬細胞聚落刺激因子(GM-CSF， Leukine®)，聚乙二醇化形式的顆粒性白血球聚落刺激因子(Neulasta®)。建議劑量請參閱第三章。

→依照目前美國傳染病學會(IDSA)提供的高危險嗜中性白血球低下指引，也建議細胞聚落刺激因子使用於出現輻射導

致之低嗜中性白血球發燒(febrile radiation-induced neutropenia)的傷患。

初期所需要的實驗檢查(現場或急診)

→每 6-12 小時重覆檢驗全血球計數及血球分類(CBC/DC)，以評估淋巴球動力學(變動曲線)和計算嗜中性白血球/淋巴球比值。

→血清澱粉酶(基準值及 24 小時後的每日)：澱粉酶的量會隨輻射劑量增加，在明顯大量輻射曝露的情況下，24 小時後預期會上升。

重要的實驗室檢查(如果可以檢驗的話)

→血液 FLT-3 配體值(FLT-3 ligand level)：造血功能損傷的標誌。

→血液瓜氨酸(citrulline)：瓜氨酸減少代表胃腸道傷害。

→第 6 干擾素(IL-6)：在過高的輻射劑量時會增加。

→顆粒性白血球聚落刺激因子(G-CSF)：在過高的輻射劑量時

會增加。

→C-反應蛋白(CRP):隨輻射劑量增加而升高;用作辨別輕微和嚴重的曝露患者。

→以細胞遺傳學檢查過度離散指數(over-dispersion index),用以評估局部身體曝露。

止吐劑的建議劑量

以下對於 5-HT 3 接受體拮抗劑的劑量,是針對輻射引起的嘔吐所建議:

→**Ondansetron** :Zofran®,Zofran ODT®

初始劑量:0.15 毫克/公斤靜脈注射;連續靜脈注射的劑量是注射 8 毫克後,接下來的 24 小時每小時 1 毫克。

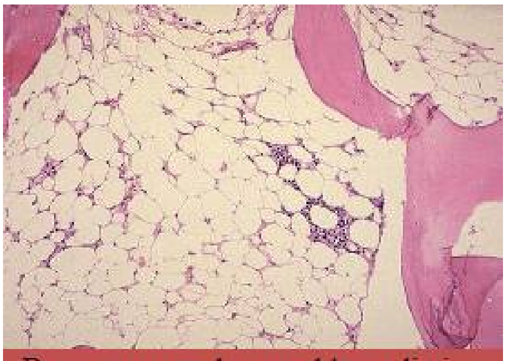
口服劑量:視需要每 8 小時 8 毫克。

→**Granisetron**: **Kytril**®- 口服錠劑:起始劑量 1 毫克,12 小時後再重複初始劑量一次;或者一次口服 2 毫克;靜脈注射劑量則根據體重決定;通常是每公斤體重 10 微克(mcg)(4.5mcg/每磅)。

第三章——急性輻射症候群

急性輻射症候群(Acute Radiation Syndrome;ARS)起因於全身或身體的一個主要部份，在很短的時間內，自體外曝露接受到大於 1 戈雷的輻射劑量(高劑量率)。在這種情況下，全身可被視為從膝蓋以上到手肘。劑量重建、嘔吐時間、淋巴球和嗜中性白血球變化曲線、臨床病史出現的徵兆/症狀之時序，和一些生化標誌，皆可用於早期劑量的估算。在考量輻射曝露和/或輻射除污之前，需優先注意內科和外科之緊急醫療狀況。

病因學



Bone marrow damaged by radiation

在曝露後的數微秒之內，細胞就會出現輻射傷害。輻射對於一些能快速再生分化的細胞(如腸隱窩細胞和幹細胞)、或具有大的細胞核的細胞(如淋巴球)所造成的傷害是最為嚴重的。可以想見，細胞株的損傷可能會導致很多的臨床症狀。右上圖可以看到受到高劑量輻射曝露(劑量>2 戈雷)的幹細胞因受損而出現固縮(pyknotic)。

急性輻射症候群和劑量

急性輻射症候群是一種急性疾病，發作時間可從數小時到數週。病情通常遵循以下模式：前驅症候/症狀→潛伏期→明顯的疾病表現期→康復或死亡。每個階段長短變化和輻射劑量有關。所涉及的器官/組織和各種不同輻射劑量閾值相關，如表 3。

高劑量輻射曝露的前驅症候/症狀包含：厭食、噁心和嘔吐、腹瀉、輕微的發燒。如果受輻射影響的部份很靠近眼睛則有可能引起結膜炎。在大劑量的急性全身輻射曝露下，由於皮膚位於身體表面，因此也可能會出現皮膚紅斑。

ARS 是全身或人體的一個重要部份遭受輻射照射所產生的症狀，包括亞臨床期(症狀不明顯；<1 戈雷)和三種次症候群。臨床症狀和全身或重要部分的身體輻射曝露及劑量有關，因此在一定的範圍內是可以預期的。基於傷病患症候與症狀的表現，可以估計其輻射劑量。以下是各種輻射劑量閾值相關聯的一般閾值。

- → 造血症候群 (＞1 戈雷)，
- → 腸胃道症候群 (＞6-8 戈雷)
- → 心血管和中樞神經症候群 (＞20 戈雷)

由於骨髓再生不良導致的淋巴球減少、嗜中性球減少症、也許還包含全血細胞減少症，可能導致敗血症、出血和受損的傷口癒合不良。

表 3—輻射效應

<table>
<tr><td rowspan="13">劑量
(戈雷)</td><td>12 及以</td><td rowspan="13">>骨髓
抑制</td><td>神經血管症候群</td><td rowspan="2">多器官功能衰竭
可能死亡</td></tr>
<tr><td>11</td><td></td></tr>
<tr><td>10</td><td></td><td rowspan="3">考慮幹細胞移植</td></tr>
<tr><td>9</td><td></td></tr>
<tr><td>8</td><td></td></tr>
<tr><td>7</td><td></td><td rowspan="2">給予支持治療時的 $LD_{50/60}$</td></tr>
<tr><td>6</td><td>腸胃道症候群</td></tr>
<tr><td>5</td><td></td><td rowspan="3">未給予治療時的 $LD_{50/60}$</td></tr>
<tr><td>4</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td>造血症候群</td><td rowspan="3">無治療下的 100%存活率</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td></tr>
<tr><td>0</td><td></td></tr>
</table>

造血症候群

由於細胞代謝周期很快速，人的骨髓母細胞是人體對輻射最敏感的細胞之一。

成熟的淋巴細胞由於細胞核很大，亦會受游離輻射的影響，因此對輻射也很敏感。造血症候群的閾值一般被認為大於 1 戈雷，但通常直到超過 2 戈雷，臨床上才可能出現和造血相關的明顯疾病表現。典型的臨床表現通常會發生在事件後幾週，這是因為有絲分裂活躍的造血母細胞在全身曝露大於 2-3 戈雷的輻射後就無法分裂。在 2-3 戈雷的劑量範圍內，所涉及的各器官表現會使得病患病情複雜化。淋巴細胞減少，接著其他血液組成成分縮減，因而容易出血和感染，從而導致發病率和死亡率的增加。

血液科方面的需求可能是長期的，包括血液製品、造血生長因子、以及抗生素。記住，急性輻射性疾病-複合傷害，在出現身體有創傷時，如燒傷和/或傷口，存在著輻射劑量和創傷間的相互加成關係。伴隨身體傷害的輻射症候群傷患會使治療複雜化，並可能導致恢復時間延長和死亡率增加。相對的，有燒傷/或有傷口的急性

輻射症候群傷患，因為造血功能抑制，往往會有傷口癒合不良、出血和感染的情形。

現代的支持性療法，如輸血和使用抗生素，能夠將 $LD_{50/60}$(60 天內造成群體 50%死亡)的劑量，從 3.5-4 戈雷(未接受治療)提高至 5-6 戈雷。支持性療法的目的是維持病人存活，直到殘餘的幹細胞組織可以被刺激恢復血球細胞(嗜中性球和血小板)生產。除了 CSF 的使用，加護病房照顧也可提高傷患的 $LD_{50/60}$ 到 6-8 戈雷。沒有身體創傷、且只接受 6 戈雷或以下劑量的傷患才會有最高的存活率。

腸胃道症候群

雖然症狀相對溫和，胃腸道症狀的出現可能要約 6 戈雷左右。發作劑量範圍在 8 戈雷左右，腸胃道症狀群如噁心、嘔吐和腹瀉將變得更嚴重。發病的徵兆/症狀發作與劑量相關，較高的劑量會較快的發作。

其他與腸胃道症候群相關的臨床問題包括：明顯的體液和電解質的變化、營養物質吸收不良和胃腸道出血。一旦胃腸道管腔內的

上皮襯裡細胞枯竭，細菌即可藉由消化道在人體內自由進出，這常會造成革蘭氏陰性菌敗血症。此外，受侵害的地區還可能會大量出血。雖然在歷史上 8 戈雷劑量範圍內的輻射，通常會在事件發生幾星期內死亡，但仍可以用最先進的醫療重症加護照顧來延長壽命。值得注意的是，雖然與胃腸症候群不相關，但在 6-8 戈雷或更高輻射劑量下，很可能會對肺部呼吸系統有不良的影響。

心血管和中樞神經系統症候群

劑量超過 20 戈雷會引發心血管和中樞神經系統症候群。在這個劑量範圍下，幾分鐘之內會產生噁心和嘔吐，與早期短暫失能。早期短暫失能之後，雖有可能在幾個小時到幾天的短時間內回復一些功能，但隨後患者的狀況急速惡化，徵兆/症狀包括高體溫、虛脫和血壓下降，這很可能會造成意識喪失，血壓不穩定，甚至死亡。抽搐不一定會發生。在病理解剖中可以看到腦水腫及多重器官病變。

急性輻射症候群醫療處置

急性輻射症候群的處置主要著重於造血系統支持和恢復。發病初期會有厭食、噁心、嘔吐、和全身無力的跡象。醫療處置的兩個主要目的是努力防止嗜中性球減少和會以發燒來表現的敗血症。嗜中性白血球低下症的惡化，尤其是嗜中性球絕對數值低於 100 個/mm^3 會造成感染的風險增加。

輻射導致的嘔吐可能會與精神心理性嘔吐混淆，尤其是如果別人也在嘔吐。輻射所導致的嘔吐會較心理性持續更久。詳細的病史和群體觀察有助於鑑別診斷。及早收集血液樣本並每 6-12 小時進行全血球計數及分類檢查可以計算出絕對淋巴球數(ALC)與絕對嗜中性球數(ANC)。ALC 的快速減少，表示劑量很高。ALC 和嗜中性球/淋巴球比例，以及嘔吐時間，可用於評估輻射劑量，並且可作檢傷的評分。

治療輻射導致的嘔吐最好的藥物是 granisetron 或 ondansetron，為了維持腸胃道的完整性，及早經口飲食是比靜脈注射更好方式。嗜中性白血球減少的感染是很常見的，依據不同的傷病患和機構，格蘭氏陰性或陽性菌的感染狀況會發生極大的變異。請記得

急性輻射症候群的傷病患免疫系統較弱，所以要考慮使用抗病毒和抗黴菌藥物。感染症治療方式的選擇應遵循現行美國傳染病醫學會的建議。

Filgrastim (Neupogen®)是一種顆粒性白血球聚落刺激因子(G-CSF)，而聚乙二醇化的(Neulasta®) 則是更長效的顆粒性白血球聚落刺激因子。Sargramostim (Leukine®)是顆粒性白血球-巨噬細胞聚落刺激因子(GM-CSF)。這些造血刺激劑可以縮短嗜中性球和巨噬細胞的復原時間。在曝露後及早使用可以達到最大的效益，且最好是在 24-72 小時內。直到確定絕對嗜中性球數達到 $1000/mm^3$ 前，每天都要持續注射。

細胞激素：建議劑量

下列細胞激素可用於預期會出現嚴重嗜中性白血球低下症病人：

→ Filgrastim (G-CSF) 2.5-5μg/kg/d 每日皮下使用或同等劑量 ($100\text{-}200\ \mu g/m^2/d$)。

→ Sargramostim (GM-CSF) 5-10 μg/kg/d 每日皮下使用或 ($200\text{-}400\ \mu g/m^2/d$)。

→ Pegfilgrastim (pegG-CSF) 6 mg 皮下一次使用。

急性輻射症候群在醫院內的處置

→ 抗生素、抗病毒、抗黴菌藥物。

→ 早期的細胞激素治療。

→ 早期傷口縫合。

→ 腸胃道除污。

→ 盡量減少侵入性治療。

→ 屏蔽隔離。

→ 全身有效劑量超過 2-3 戈雷之病患予以保護性隔離(reverse isolation)。

→ 嚴格的環境控制，包括隔離，嚴格洗手，刷手和人員配戴口罩，和可能的話使用層流的環境(laminar flow)。

→ 避免制酸劑和 H2 受體拮抗劑，以維持腸胃道的酸度，給予 sucralfate 以避免壓力性潰瘍。

→ 如果可能的話，經口飲食比靜脈輸液好。(熟食，不要根莖類食物)

→ 嚴格注意口腔與指甲的衛生。

→ 皮膚和頭髮使用優碘或 clorhexidine 消毒。

臨床案例：急性輻射症候群的檢傷

事件

有一個傷病患在進入一間工業照射室，被上方的輻射源照射後，被帶到你的急診室。當他進入該區域後，隨即發現狀況不對並立刻離開該區域。這個病人生命徵象、初級與次級評估都正常，但在離開該區域大概 2 小時後，出現反覆性嘔吐的情形。

解答

利用在「第二章：初期醫療應變」中提到的簡易評分系統，嗜中性球和淋巴球的比率如下：

Time Post-event (事件後經過的時間)	**N/L**
2 小時	1.32
4.5 小時	15.2
9 小時	9.78

取得全血球計數與白血球分類的結果後，N 的值是白血球數乘以(嗜中性球比例%)，淋巴球 L 的算法也類似。白血球分類計數中，

因為白血球的值已在算式中消去，N/L＝(嗜中性球百分比)/(淋巴球百分比)。由於傷病患出現嘔吐，所以要再加 2 分，因此 2 小時的 T 分數為 3.32 ，4.5 小時的 T 分數為 17.2，9 小時的 T 分數是 11.78。由於在 4 小時 T 分數大於 3.7，此病患應該接受更進一步的血液學評估。這個臨床資料是 1971 年從橡樹嶺聯合大學的真實病患得來。該病患被發現遭受一個 7700 Ci (285 TBq)的 Co-60 射源發射的 γ 射線曝露，而受到 3.5 戈雷的劑量。

結論

早期急性輻射症候群患者，如受到全身或局部身體照射曝露，皆需要醫療機構提供支持性療法和細胞激素治療。

監測可能發生的嗜中性球減少/低嗜中性球性發燒，並依從 IDSA 的治療指南進行適當的抗生素治療。因為專業不同，應考慮照會血液科醫師、放射腫瘤科醫師，及其他可能需要的專家，這些專家很可能可以提供對輻射引起的疾病或傷害治療具有價值的意見。

第四章——局部輻射傷害的醫療處置

劑量和臨床表現

急性局部輻射照射事件可能單獨發生或與急性輻射症候群共存，這類傷害大多為工業使用的輻射裝置所造成的輻射傷害類型，可以用以下的臨床表徵來確定閾值：

→ **3 戈雷：**脫毛，通常在事件發生的 14-21 天後。

→ **6 戈雷：**紅斑在事件發生後常會很快地短暫出現，在 14-21 天後會出現第二波紅斑。病理性紅斑病變包括小動脈收縮與毛細血管擴張和局部水腫。紅斑可能發生在事件後幾小時內(初級紅斑)，或重複性的出現。

→ **10-15 戈雷：**通常在輻射事件後 20 天，由於皮膚的生殖層對於輻射的次級反應而出現乾性脫屑，乾性脫屑起因於表皮的生殖層對輻射的反應，在皮膚的基底層和副基底層的細胞會減少有絲分裂，表皮會變薄並形成大片的皮膚脫屑。

→ **15-25 戈雷：**在曝露後至少 2-3 週才會出現濕樣脫屑變化(皮層部份損傷)，並取決於劑量的多寡。在顯微鏡下觀看濕樣

脫屑可以發現細胞內水腫，聚在一起的水泡疹形成明顯的大水泡，及被纖維蛋白覆蓋之潮濕皮膚表面。

→＞**25 戈雷：**皮膚在受輻射影響區域內的小動脈和小靜脈血管，會呈現明顯的放射性壞死與續發性血管內皮細胞損傷及類纖維性潰瘍壞死。由高劑量的全身性伴隨著局部輻射曝露所產生的皮膚症候群，也都曾被許多不同的作者報告過。

曝露後 0 天 	曝露後 24 小時 
曝露後 33 天 	曝露後 45 天(清創後) 

臨床上，事件發生後的第一週內(取決於劑量)病人是沒有症狀的，可能會出現早期的一波暫時性紅斑。大約兩週後會出現

真的紅斑，並隨後進展至脫皮、出汗抑制以及皮脂腺分泌減少。在第 3 週，患者通常會出現皮膚溫熱、水腫、接觸性疼痛，並偶爾有嚴重的搔癢，其症狀一般僅限於受到輻射照射的區域。到了第 4 週，在受到輻射曝露的區域內，依據其所受劑量會有明顯的乾或濕性脫屑。

<u>治療</u>

Extensive lesion from Ir-192 source

在美國的經驗中，造成局部身體曝露的原因常是高劑量、低線性能量轉移(Low LET)的密封性射源、X 光或加速器事故，照射到相對小範圍的皮膚。臨床上有意義的病灶，通常需要超過 10 平方公分範圍的皮膚基底層照射才會發生。美國疾病預防控制中心最近公布的皮膚輻射傷害分級的醫師指引如下：

→ Grade I : > 2 Gy

→ Grade II : > 15 Gy

→ Grade III : > 40Gy

醫療病史對於身體局部的損傷是特別重要的診斷依據，因為病徵和症狀一般需要數天到數週來表現。此外，連續的彩色數位照片紀錄是很重要的，可能的話最好也附上病灶的手繪圖示，這些照片可以讓皮膚壞死的演變紀錄更加精確。

在美國，高劑量皮膚劑量的診斷通常是透過觀察症狀的演進來估計；然而，其它診斷工具，例如細胞遺傳學的劑量計、正子攝影、核磁共振、病灶的超音波顯像和杜卜勒或雷射血流描繪圖也都能提供輔助。皮膚輻射傷害的主要關鍵是感染控制、最尖端的傷口護理和適當的疼痛處置，在整個治療過程中，早期的整型或重建外科醫師會診也是重要的一環。

輻射引起的皮膚和器官的纖維化、晚期的皮膚輻射壞死都是延遲性的併發症，且通常是不可逆的。標準的醫療處置包括：去除局部和加重因子，以及使用類固醇來控制急性和慢性發炎。

Yanango，秘魯的案例。

組織病理學上，輻射導致的小動脈纖維化。

基於病因學理論，局部輻射傷害的處理可以採取以下方式：

1. 外用皮質類固醇和非類固醇抗炎藥物的抗發炎治療。
2. 高壓氧治療和 pentoxifylline (Trental®，PTX)或合併 PTX-維生素 E 血管治療。
3. 由處理慢性血管損傷經驗豐富的醫師處理傷口和手術。

臨床案例—局部輻射傷害的多參數分析

<u>事件</u>

餐廳裡被放置了一個銫-137 射源(100 Ci，3.7 TBq)，某個人在餐廳裡看到這個金屬物體，並把它放在口袋裡。

兩天後他因為右側臀部發紅合併輕微的刺痛而去了最近的醫院，作為一個急診室醫師，你看到一個有著正常生命徵象且看似健康的 26 歲男性，2 小時後他開始中度嘔吐，基於其病史，病患通報了這個金屬物體，相關單位被告知並調查此物體為輻射源的可能性。病患被安排住院觀察，並且每 6-12 小時進行全血球計數及分類檢測。起初也會診了血液科、整型和重建外科醫師。對這些主治醫師而言，目前的狀況顯然可能發生重大輻射傷害事件，因此向 REAC/TS 進行醫療諮詢。

該病患使用表 2 劑量資訊及時間/動作相關之病患問題，也進行劑量大小的粗略的估計，同時也使用特定的 Cs-137 γ 曝露率常數(見第二章)來計算潛在的全身輻射劑量。該病患重複的全血球計數發現淋巴球下降和嗜中性球些微的上升。會診的醫師建議作多參數局部輻射血液檢查和染色體生物劑量估計。病患出現多次的噁心，並給予 Granisetron 1mg 靜脈注射(需要時可每 12 小時給予)。隔天的多參數血液檢查顯示結果如下：↓淋巴球;↑澱粉酶×4(450 IU / L);↑嗜中性球/淋巴球比率; FLT3-100 pg/mL(↑×10); ↑CRP 100 µg/ml (↑×100); 正常的瓜氨酸; ↑×10 IL6 和↑×30 gCSF; 細胞遺傳學結果：全身有效劑量估計約 3.5 戈雷；卜瓦松分配指數：1.35。卜瓦松分配指數(the Poisson dispersion index)被定義為統計分布變異數(variance)除以平均值(the mean)，它應該等於一個完美的卜瓦松過程(Poisson process)。這一重大偏差強烈暗示了非均一的局部身體損傷。在美國，對雙中節染色體在預期卜瓦松分布的過度分散通常採用 Sasaki 的 Qdr 技術來分析(Qdr technique of Sasaki)。

第五章——體內放射性核種蓄積的醫療處置

體內污染—早期快速評估

體內污染發生在個人無保護裝置狀況下放射性物質的食入、吸入、或傷口污染；沒有呼吸道保護的體外污染傷患，應考慮體內污染的可能性。

如果在臉部、鼻孔、口內/周圍，或開放性傷口有顯著的污染，則體內污染的可能性增加。體內和體外輻射劑量評估方式不同。兩者主要差異為：(1)體內劑量是經由計算而來，不是偵測得到的；(2)體內劑量是約定劑量(committed dose)。體內劑量的計算是基於最初進入體內的放射性物質的量。

在特定的時間進行生物測定，可以確知尿液的輻射活度，之後可以計算出最初進入人體的放射性物質活度。全身計數、肺計數或其他方法也同樣可進行體內劑量評估。

約定劑量的觀念說明了事實上體內劑量會被延遲。換句話說，一旦放射性物質沈積在器官，一直要到它衰變或透過正常的生物動力學過程才會被移除，並且這兩個過程彼此獨立。約定劑量是一個放射性核種在體內沈積超過 50 年的劑

量，就管制的目的而言，攝入放射性物質當年的劑量限值就要計算以 50 年的約定劑量值進行計算。

以無菌棉棒擦拭鼻咽(nasal swabs)來估計吸入劑量是一個快速的方法，檢體取樣應用棉棒透過前鼻腔收集(兩個鼻孔分開，各自單獨進行)。在懷疑有吸/攝入後就應該快速取樣(最好在第一小時內)，因為鼻腔清除放射性物質的速度快，所以延遲取樣可能會影響攝入量的估算，每個無菌棉棒都要以手持式偵檢器進行計數並將結果加總。

分別計算每一個無菌棉棒是很重要的，由於大多數人用鼻子呼吸時兩個鼻孔氣流應該是相同的，因此在個別鼻孔計數率上顯著的差異可能表示交叉污染(例如，用受污染的手指挖鼻孔造成單側污染)。計數率相加則可被轉換成活度，但通常假定鼻腔讀值為一開始攝入活度的 10%(用於 B/Y 發射器時，通常假設計數效率是 10%—這表示測得的計數率(count rate)須除以 10%，或 0.10)。法規限制—年攝入限度(ALIs)和環保署(EPA)聯邦指引報告(Federal Guidance Report No. 11)是以實驗室的估計攝入量為基準做比較(Sugarman， et. al.， Health

Physics， June， 2010)。在這裡，作為醫療決策的早期輻射劑量估計是基於美國的 ALIs(可用括號中的 SI 單位轉換)。必要時，國際建議的攝入限制值也可以作為比較基準。

案例

某人進行了臉部污染檢測，快速鼻咽取樣的總和是 150,000 dpm。因此，最初的攝入量估計為 150,000 除以 0.10，即為 1,500,000 dpm(大約 0.7 μCi(~26 kBq))。若我們假設汙染物是 Cs-137。由於 Cs-137 的年攝入限度是 200 μCi (7.4 MBq)，我們的估計明顯低於美國的年度法規限制，所以這個攝入量在醫療上不會有顯著性影響。同樣地，這裡所使用的年攝入限度是美國的法規限制，不是一個醫學上的限制值。但這仍然是一個很好的比較基準。

在這個事件中，放射性同位素是未知的，若放射線種類(α，β，γ)可被確定，就可以作出相關同位素的假設。例如，如果發現未知的 α 射線，通常以一個安全劑量值估計而言(見表 4)可假設它是 Am-241，直到同位素可被確認。這個假設可能不正確的，但應該可接近正確的幅度估計。ALIs 常見的同位素詳見

下表。攝入量估計值應透過適當的生物分析技術進行驗證。

表 4—假定放射性核種的吸入性年攝入限度(ALIs)—美國

放射線	假定 放射性核種	年攝入限度 和溶解性分類	~ dpm
Alpha	Am-241	0.006 μCi/0.2 kBq-W	1.3×10^4
Beta	Sr-90	4 μCi/0.148 MBq-Y	8.9×10^6
Gamma	Cs-137	200 μCi/7.4MBq-D	4.4×10^8

** FGR-11 規範的 ALI 值列表*

表 5—常見放射性核種的吸入性年攝入限度(ALIs)—美國

核種	年攝入限度和溶解性分類	~ dpm
H-3	80,000 μCi/3 GBq (H_20 Vapor)	1.8×10^{11}
Co-60	30 μCi/1.1 MBq – Y	6.7×10^7
U-235， 238	0.04 μCi/1.48 kBq – Y	8.9×10^4
Pu-239	0.006 μCi/0.2 kBq – W	1.3×10^4
Cf-252	0.02 μCi/0.74 kBq – W	4.4×10^4

** FGR-11 規範的 ALI 值列表*

開放性傷口是另一條放射性物質污染進入人體的途徑。NCRP 第 156 號報告(2006)指出，放射性核種傷口污染的生物動力學發展以及劑量評估、計算，和治療的程序可以用活度及體內劑量估計(AIDE，Bertelli)軟體，來進行各種放射性同位素和污染物/傷口類型的轉換係數計算。由法規限制劑量除以相應的劑量轉換係數(DCF)的結果，為劑量參考水平(DRL)—類似 ALIs，因為傷口並沒有 ALIs 的定義(Toohry 等，保健物理期刊，出版中)。

DRL 和上面的 ALI 相同，可以用來作為參考基準。只要知道早期傷口計數，將計數率轉換成一個活度(dpm)，再比較其相應的 DRL(表 6)就可以使用上述概念。要注意的是，污染程度比 DRL 高並不一定代表著有明顯的醫療問題，而僅代表污染的程度，可能導致體內的劑量大於法規限制。

應注意的是，表 6 是基於美國的法規劑量限值，但劑量轉換係數是基於等效劑量(國際指引)，這不影響該表作為劑量估計的使用。這些比較可以被用來協助醫療決策。國際指引使用不同劑量限值的結果，會造成不同 DRLs。請參閱 NCRP 第

156 號或諮詢 REAC/TS 來獲得進一步指導。

表 6—常見特定同位素之溶解性分類與 DRLs(dpm)

同位素	基準	弱	溫和	強烈	激烈
Co-60	ED	1.54E+08	1.54E+08	1.65E+08	2.01E+08
Sr-90	BS	2.20E+07	2.20E+07	2.25E+07	2.38E+07
Tc-99m	ED	2.00E+11	2.56E+11	9.33E+11	8.78E+11
I-131	Thy	7.06E+07	8.01E+07	1.26E+08	3.46E+08
Cs-137	ED	2.20E+08	2.20E+08	2.23E+08	2.34E+08
Ir-192	ED	4.49E+08	4.66E+08	6.21E+08	1.69E+09
U-235	BS	8.23E+05	8.23E+05	8.29E+05	8.46E+05
U-238	BS	8.55E+05	8.55E+05	8.63E+05	8.78E+05
Pu-239	BS	1.81E+03	1.81E+03	1.85E+03	1.92E+03
Am-241	BS	1.65E+03	1.65E+03	1.68E+03	1.74E+03
Cf-252	BS	5.14E+03	5.15E+03	5.75E+03	7.96E+03

** ED = 有效劑量， BS = 骨表面， Thy = 甲狀腺*

ED 參考點 = 5 rem (committed)

器官劑量參考點 = 50 rem (committed)

醫療處置的方法

醫療處置方法視同位素而定，因此確定同位素的種類是非常重要的。放射性衰變(物理半衰期)和生理代謝(生物半衰期)是身體清除放射性物質的方式。結合這兩種清除率就是身體的有效半衰期，有效半衰期比物理或生物半衰期都要來得短。放射性核種的生物代謝途徑與清除非放射性物質的動力學相同。攝入放射性物質的主要途徑是吸入、食入、透過開放的傷口污染和經由皮膚吸收，來自於耗乏鈾(DU)嵌入彈片的鈾金屬溶解也是被關注的攝入途徑之一。

體內污染的醫療處置主要分為幾大類：

→減少和/或抑制在胃腸道裡同位素的吸收。例如：洗胃，導瀉。

→阻斷相關器官的攝取。例如：放射性碘曝露後 4 小時內，提供碘化鉀(KI)以阻止甲狀腺攝取放射性碘。

→稀釋同位素。例如：增加體液以稀釋體內 H(氚)-3 污染。

→改變物質的化學反應。例如：使用碳酸氫鈉防止鈾醯離子

(uranyl ions)與腎小管結合。

→替換受器上的同位素。例如：給予穩定碘取代 Tc(鎝)-99m。

→傳統螯合技術。例如：投予螯合劑如亞乙基三胺(DTPA)處理沉積於體內的鈽。

→早期切除受放射性核種污染的患部，以減少吸收。

→對嚴重吸入不溶性微粒的病患，可採取支氣管肺泡灌洗。這是一種罕見且會造成肺部很大負擔的處置，僅於非溶解性的 α 射線核種，例如 Pu(鈽)的情況下使用。

同位素種類

世界上有超過 8,000 種同位素，但只有 10-15 種軍事或民用的同位素和恐怖主義及工業事故有關，因此別具重要性。常見的重要同位素如下所述：

「**大學五種**」—C-14，P-32，I-125，I-131，Cf-252。用於生化實驗室的同位素標記及醫療用途。

「**工業三種**」—Ir-192，Cs-137，Co-60。Ir-192 被廣泛的用於工業射線照相，進行大型物體攝影，如油管、飛機機翼等。

Cs-137 和 Co-60 因它們的 γ 射線穿透性良好而用於工業，也被認定為恐怖事件使用的主要同位素。

「**軍事五種**」—H-3，U-235，U-238，Pu-239 和 Am-241。無論是在能源部(DOE)或軍事系統，這些同位素都是放射性武器的主要材料。

「**核分裂/活化產物**」—此類產物在核爆(如 IND 或核子武器)、反應器事故或放射性廢棄物運送事故時可能會產生，有些產物是有揮發性的，若是活度過高可能會造成嚴重的公眾危險。

NCRP 第 65 號報告(1980)被普遍認為是醫師進行體內放射性污染患者治療、加強其排出的重要參考文件。NCRP 第 161 號報告(2010)則增加了很多體內污染處置和保健物理學指引的更新資訊，它引入了以劑量/風險(Dose/Risk)為基礎的概念，臨床決策指南(CDG)可以用來協助醫師決定何時需治療、或不需治療。表 7 和表 8 的資料是改編自 NCRP 第 161 號報告。

特定放射性核種的治療

本章節提供：(1)促進特定放射性核種排出的治療建議；

(2)治療藥物的資訊。

表 7 列出各種放射性核種造成的體內污染所需的醫療處置和治療建議。表 8 提供藥物治療的劑量用法或治療方式。

表 7—美國特定的放射性核種促排治療建議(NCRP 第 161 號報告，2010)

放射性核種	治療方式	建議處方
Actinium(Ac)	Consider DTPA	Consider DTPA
Americium(Am)	DTPA	DTPA
Antimony(Sb)	BAL, penicillarmine	BAL
Arsenic(As)	BAL, DMSA	BAL
Barium(Ba)	Ba, Ca Therapy	See NCRP 161
Berkelium(Bk)	DTPA	DTPA
Bismuth(Bi)	BAL, Penicillamine, DMSA	DMSA
Cadmium(Cd)	DMSA, DTPA, EDTA	DMSA
Californium(Cf)	DTPA	DTPA

Calcium(Ca)	Ba, Ca Therapy	See NCRP 161
Carbon(C)	No treatment available	N/A
Cerium(Ce)	DTPA	DTPA
Cesium(Cs)	Prussian blue (普魯士藍)	Prussian blue
Chromium(Cr)	DTPA, EDTA (antacids are contraindicated)	DTPA
Cobalt(Co)	DMSA, DTPA, EDTA, NAC	DTPA
Copper(Cu)	EDTA, penicillamine, trientine	Penicillamine
Curium(Cm)	DTPA	DTPA
Einsteinium(Es)	DTPA	DTPA
Europium(Eu)	DTPA	DTPA
Fission Products 分裂產物(混合)	處置方式基於當時出現的主要同位素。早期：I；後期：Sr, Cs，和其他。	
Fluorine(F)	Aluminum hydroxide (氫氧化鋁)	Aluminum hydroxide
Gallium(Ga)	Consider penicillamine	Penicillamine

Gold(Au)	BAL, penicillamine	BAL
Indium(In)	DTPA	DTPA
Iodine(I)	Potassium iodide 碘化鉀(KI)，propylthiouracil, methamizole	KI
Iridium(Ir)	Consider DTPA, EDTA	可考慮 DTPA
Iron(Fe)	Deferoxamine(DFOA) , deferasirox, DTPA	DFOA
Lanthanum(La)	DTPA	DTPA
Lead(Pb)	DMSA, EDTA, EDTA, BAL	DMSA
Maganese(Mn)	DFOA, DTPA, EDTA	DTPA
Mangnesium(Mg)	Consider strontium therapy (可考慮以 Sr 治療)	Consider strontium therapy
Mercury(Hg)	BAL, EDTA, penicillamine, DMSA	BAL
Molybdenum(Mo)	Limited clinical experience(臨床經驗有限)	
Neptunium(Np)	考慮 DFOA 和/或 DTPA	

Nickel(Ni)	BAL, EDTA	BAL
Niobium(Nb)	DTPA	DTPA
Palladium(Pd)	Penicillamine, DTPA	Penicillamine
Phosphorus(P)	Phosphorus Therapy(磷療法)	
Plutonium(Pu)	DTPA, DFOA, EDTA, DTPA，併用 DFOA	DTPA
Polonium(Po)	BAL, DMSA, penicillamine	BAL
Potassium(K)	Diuretics(利尿劑)	Diuretics
Promethium(Pm)	DTPA	DTPA
Radium(Ra)	Ra/Sr therapy	
Rubidium(Rb)	Prussian Blue(普魯士藍)	Prussian Blue
Ruthenium(Ru)	DTPA, EDTA	DTPA
Scandium(Sc)	DTPA	DTPA
Silver(Ag)	No specific therapy; consider gastric lavage and purgatives 無特殊治療；考慮洗胃或瀉藥	
Sodium(Na)	Diuretic and isotopic dilution with 0.9 % NaCl	

	(利尿劑和同位素稀釋劑 0.9%氯化鈉)	
Strontium(Sr)	Ra/Sr therapy	
Sulfur(S)	Consider sodium thiosulfate (考慮使用硫代硫酸鈉)	Consider thiosulfate
Technetium(Tc)	Potassium perchlorate (高氯酸鉀)	
Thallium(Tl)	Prussian Blue (普魯士藍)	Prussian Blue
Thorium(Th)	Consider DTPA	Consider DTPA
Tritium(3H)	Force fluids (增加體液)	Water diuresis (水利尿)
Uranium(U)	Bicarbonate to alkalinize the urine; consider dialysis 碳酸氫鹽以鹼化尿液；考慮透析	Bicarbonate (碳酸氫鹽)
Yttrium(Y)	DTPA, EDTA	DTPA
Zinc(Zn)	DTPA, EDTA, Zinc sulfate as a diluting agent	DTPA
Zirconium(Zr)	DTPA, EDTA	DTPA

表 8—藥物的劑量用法或治療方式

藥物或治療方式	劑量用法
Acetylcysteine (NAC)	無年齡限制(FDA)：在 acetaminophen 過量時，加入 5%葡萄糖水靜脈注射 300 毫克/公斤，施打超過 24 小時
Deferoxamine (DFOA)	無年齡限制(FDA)：可注射甲磺酸去鐵胺(DFOA)；優先考慮肌肉注射(IM)。緩慢的進行 1g 肌肉注射或靜脈注射(IV)(2 ampules)，15 mg kg^{-1} h^{-1}；視需要時重複 500 mg IM 或 IV，每四個小時一次，共兩份劑量；然後每 12 小時施打一次 500 mg IM 或 IV，持續三天。
Dimercaprol (BAL)	無年齡限制(FDA)：深部肌肉注射(每小瓶 300 mg)，每四個小時注射 2.5 mg $^{-1}$ kg (或更少)，持續兩天；然後一天兩次，持續一天；最後一天一次，持續五到十天。

Diethylenertria-mineoentaa-cetate (DTPA，calcium or zinc)	**成人：** 靜脈注射：1g 加入 5 mL 靜脈注射 3-4 分鐘；或是稀釋於 250 mL 的 5%葡萄糖水、林格式液或生理食鹽水(NS)，靜脈注射 30 分鐘。 霧化吸入：1g，1 比 1 稀釋於無菌水或生理食鹽水。 **12 歲以下的兒童：** 靜脈注射：以相同方式靜脈注射(14 mg/kg)，不可超過 1 g。 肌肉注射：1 g，可以併用普魯卡因(procaine)給予以減輕疼痛(未經 FDA 核准)。
Edetate calcium disodium (EDTA)	無年齡限制(FDA): Ca-EDTA (乙二胺四乙酸二鈉鈣); 1,000 mg m^{-2} d^{-1} 加入 500 mL D_5NS，注射 8-12 小時.
Penicillamine	無年齡限制(FDA)： 口服：每天 250mg，三餐之間及睡前。可增加至每日 4g 或 5g，分次服用。

Phosphorus Therapy Potassium phosphate，dibasic	口服：每錠含有 250 mg 磷。 成人：口服每日 4 次，每次 1-2 錠配一大杯水，三餐前/後以及睡前。 4 歲以上兒童：口服 1 錠，每日 4 次。
Potassion iodide (KI)	口服：錠劑或液體。 每日 16mg~130mg 不等，根據年齡、甲狀腺曝露水準(thyroid exposure level)、以及是否懷孕或哺乳而定。
Propylthiouracil (PTU)	無年齡限制(FDA)： 口服：每錠 50 mg，每次 2 錠，每日 3 次，共 8 日。
Prussian Blue	口服： 成人與青少年每次 3 g，每日 3 次。 2-12 歲兒童：每次 1 g，每日 3 次。

表 8—藥物的用法用量或治療模式(續)

藥物或治療方法	劑量
碳酸氫鈉 (僅對鈾元素)	口服或靜脈注射
鐳和鍶治療	氫氧化鋁：口服：一次 60-100 毫升。 10 % 氯化鈣懸浮液： 成人：靜脈注射：每次 200 mg~1 g，1-3 天，緩慢靜脈滴注，每分鐘不超過 1 毫升。 葡萄糖酸鈣：口服：10g 的粉劑放在 30 cc 的小瓶裡，加入水和飲料。
二巰丁二酸 (DMSA) (Chemet®)	美國 FDA 核准的兒童劑量：口服起始劑量為每 8 小時 10mg/kg 或 350mg/m^2 共使用 5 天。之後的 2 週治療需減少用藥頻率為每 12 小時服用 10mg/kg 或 350mg/m^2(初始日劑量的三分之二)。 一個療程至少 19 天。
水利尿	口服：一天超過 3-4 公升的水。

口服碘化鉀進行甲狀腺治療(KI blockage)

兒童曝露在放射性碘中容易有罹患甲狀腺癌的潛在危險，應該在曝露後 4 小時內經由口服碘化鉀阻擋放射性碘的攝入。有些人對碘化鉀過敏，可使用碘化鉀的替代品，但應該個別跟醫師討論。

表 9—碘化鉀的建議劑量

成人：大於 40 歲 甲狀腺曝露≥ 5 戈雷(500 雷得)	130 mg d^{-1}
成人：18~40 歲 甲狀腺曝露≥ 0.1 戈雷(10 雷得)	130 mg d^{-1}
懷孕或哺乳期婦女 甲狀腺曝露≥ 0.05 戈雷(5 雷得)	130 mg d^{-1}
3-18 歲的兒童、青少年 甲狀腺曝露≥ 0.05 戈雷(5 雷得)	65 mg d^{-1}
1 個月到 3 歲的嬰幼兒 甲狀腺曝露≥ 0.05 戈雷(5 雷得)	32 mg d^{-1}
1 個月內的新生兒 甲狀腺曝露≥ 0.05 戈雷(5 雷得)	16 mg d^{-1}

第六章—除污技術

醫護人員的安全

輻射污染的傷患一般來說不會對醫護人員構成危險。

若病患還活著，則其輻射汙染不太可能嚴重到對於醫護人員有明顯威脅。

因輻射污染傷患而引起輻射曝露的風險是幾乎可以被忽略的，因此不應因為可能被污染而延遲必要的內科或外科治療。

初步處置

初步的放射性物質污染傷患處理，是進行所有挽救生命/肢體的行動，除污行為不應干擾醫療照護，如果需要急救，也不應該阻擋受污染者進入醫療場所內。因輻射事件而進入醫院的傷患，在確定無污染前，都應該被視為有污染。快速的從頭到腳的偵檢應該要能大致評估有無污染。快速偵檢通常可以在醫護人員評估傷患生命穩定性時完成。輻射除污是從身體表面去除放射性物質，常需花費很多資源和時間。

除污技術

大量的放射性污染通常可以透過適當的儀器偵測快速檢測。

輻射除污和化學災害的除污理論上十分類似，兩者主要的差異是時間，化學性除污通常較為急迫，而輻射除污則否。

除污應遵循基本常識。不像化學性物質，放射性物質是不能被「中和」的，輻射除污時須謹記，污染物只會從一個點移到另一點，因此除污的挑戰是如何從一個區域去除放射性物質，並確保在轉移到另一個區域時它不會散播到經過的部位。

除污之前，首先需確定傷患的病情穩定。一旦病人的生命徵象已經穩定，則第一步就是除去受污染的衣物。按理衣服通常覆蓋著身體的大部份，因此適當的去除衣服，可以明顯的降低醫療人員所需處理的放射性物質總量。去除衣物時，用

剪刀剪掉衣服而不要撕開。衣服去除方向要遠離傷患的呼吸道，並且以朝傷患皮膚外捲動的方式(由內向外捲)將放射性物質困在衣物內。如果傷患可以聽從指令，則可以使用防濺面罩。而剪掉衣服後以滾木翻(log roll procedure)的方式去除衣服。床上有很多層床單。最上面的床單折起要蓋住衣服，以製造一個乾淨的表面讓病人可以被翻動。再來把病人翻到已經蓋住衣服的床單(乾淨的那一邊)，接下來將床單朝腳的方向捲起，並從床上移除。一旦床單被移除後，可以在傷患背部作一個快速的偵檢，查明有無明顯受污染的區域。在這個時候，整體受污程度應該已經明顯降低。需確定衣服和床單都被完整的裝袋並送檢，這是在評估可能的體內污染時，確認放射性物質種類的好方法。

在下面的案例中，傷患的左小腿有一個需要注意的污染傷口。

除污的優先順序為：1. 傷口

2. 臉部周圍的孔洞

3. 全身的皮膚(傷口以外)。

為了處理污染傷口，應先決定除污區域。傷口的敷料移除後應保存以做進一步之劑量評估。緊鄰傷口處的皮膚應快速的使用嬰兒濕紙巾除污(遠離傷口方向擦拭)。這樣做是為了最大限度地減少任何可能被轉移回傷口的污染，並確保區域內的污染物不會混淆傷口的實際輻射計數。最後應在除污區域進行防水鋪單，以防止污染擴散到未受污染的地區。鋪單準備好之後就開始進行傷口除污，輕柔地用無菌生理食鹽水或類似的溶液沖洗傷口。最初沖洗的目的是要移除較大的污染物，所以避免太用力以防止飛濺污染。液體應直接流入容器—最好是有內襯的垃圾袋。用吸水墊收集傷口部位的液體也是一個好方法。所有產生的廢棄物應存放在事前準備的袋子，以利事後收集和處置。

當除污已明顯降低傷口污染，就可以將傷口包覆起來，移除鋪單後再放上乾淨的墊子，並應再次偵檢傷口。如果傷口仍然持續受到污染，則應重複上述步驟。若污染程度持續升高、或是除污過程進展過於緩慢或沒有變化，治療的醫師應該要打開傷口以檢查有無異物，並可能有需要進行小規模的清創。為了防止感染，將傷口關起來前仍要再次擦洗。這樣做可以去除殘留的污染物。總的來說，小量污染的傷口應先考慮感染控制和美觀，傷口感染控制比少量污染處置來的重要。

臉部周圍的孔洞除污是一項挑戰，鼻孔的除污可以直接讓病

患自行擤鼻涕多次。如果病人可以配合，沖洗會是一種選擇，只要注意不要讓更多污染物進入人體，讓病人保持在可以靠著的姿勢(最好是坐著)，將洗鼻器噴嘴移到污染區域，並使溶液流動後通過鼻孔。用一般的方法沖洗眼睛是可以接受的，但要注意讓水遠離鼻/口，以及防止水進入耳朵。

皮膚除污應注意避免產生可見的刺激。摩擦皮膚可能會使皮膚表面的放射性物質有進入身體的機會。如果可以，用最簡單的方法進行皮膚除污。用嬰兒濕紙巾是對皮膚產生較少刺激的一個好選擇，畢竟它就是設計來除污的。如果濕紙巾沒有效，可採取更積極的措施來除污，但須小心維持皮膚的完整性。用軟布、溫水和肥皂輕輕擦洗也是另一種選擇。

清潔動作應該由外而內，目標是盡量減少污染區域，而不是使其擴散。如果要進行大範圍傷口沖洗，則在污染區域進行

鋪單和放置集水盆可能會有幫助。可以用洗頭的方式去除頭髮的污染，小心避免讓洗/潤髮水流到臉上。最好不要刮除像胸毛這類區域的毛髮，因可能會導致皮膚擦傷。必要的話，剪掉頭髮是一個好的方法，要記得病人可能不願意剪掉頭髮。

部分皮層燒燙傷的除污(二度燒燙傷的除污)

部份皮層燒燙傷的除污應該要用溫和的溶液沖洗和清潔以避免對皮膚的刺激。水泡應保持完整性，破掉的水泡處理應照燒燙傷程序沖洗和清潔。而在全層皮膚的燒燙傷(三度燒燙傷)的狀況下，放射性污染物會隨焦痂脫落。因為燒燙傷的組織已經沒有血液循環，所以放射性污染物會留在死掉的組織層裡。裸露的皮膚和頭髮應該要澈底清洗，如果可以，污水應分隔和適當處理。有外科手術的必要性時，也可以進行傷口切開。傷口表面的放射性污染物會隨著組織一起被移除。

第七章—生物劑量計

生物劑量計是利用生物對不同程度輻射曝露的反應來做輻射劑量的指標。細胞遺傳學生物劑量計是評估傷病患全身劑量的黃金標準。

早期反應多參數生物劑量計

沒有單一的分析方法足以使用於所有潛在的輻射事件，包括大規模傷患和早期治療的診斷在內，第一線的應變人員及收治人員，建議使用優先化多參數分析的生物劑量基礎策略(prioritized multiple-assay biodosimetric-based strategy)。NCRP 第 19 號評註報告(NCRP，2005)建議以多參數檢傷分類(例如：曝露至嘔吐時間、淋巴球細胞動力學、和其他生物劑量計及生化指標)作為目前最早也最好的生物劑量測定方式，來評估受害者的吸收劑量。此生物劑量測定方式並不是用來取代如早期保健物理劑量估算和正式的劑量重建，而是增強其他劑量評估的方法。

表 10—多參數生物劑量計

劑量(戈雷)	嘔吐百分比	嘔吐發作的中位數(小時)	絕對淋巴球計數；前 24 小時內的正常比例	第一日相對增加的血清澱粉酶	每 50 個中期雙中節染色體的數目
0	-	-	100	1	0.05-0.1
1	19	-	88	2	4
2	35	4.6	78	4	12
3	54	2.6	69	6	22
4	72	1.7	60	10	35
5	86	1.3	53	13	51
>6	90-100	1.0	<47	>15	-

從表 10 可以看到在前 1-2 小時內的嘔吐、與 24 小時內淋巴球細胞數下降到基礎值的 1/2 或 1/3，代表了有潛在致死危險。24 小時後，上升的血清澱粉酶也潛在驗證了同樣的危險。可利用下方所敘之準則，作初期、快速的生物劑量測定，以進行大量傷患的檢傷分類。相反的，如果病人在 8-10 小時內都沒有嘔吐的話，則劑量很可能小於 1 戈雷，可以轉到門診追蹤。

目前對於生物劑量測定的共識準則包含以下量測法:

- ➔ 病徵和症狀
- ➔ 放射活度評估
- ➔ 血液學
- ➔ 個人和區域劑量
- ➔ 細胞遺傳學
- ➔ 以電子順磁共振(EPR- Electron paramagenetic Resource)為基礎的劑量評估
- ➔ 血清澱粉酶的活性，C-反應蛋白，FLT-3 配體，瓜氨酸，血液蛋白分析等。

細胞遺傳學生物劑量計

細胞遺傳學生物劑量計在評估輻射導致的淋巴球染色體變異上，已使用了幾十年。它主要適用於近期內的全身急性輻射曝露。由於淋巴球的雙中節染色體的背景值低，因此這個檢測的敏感度相對較高，全身劑量閾值在 0.1-0.2 戈雷(1000 個細胞分析的基礎上)。在急性曝露的情況下，劑量依存度可高達

5 戈雷。

由於其可重複性、雙中節染色體對於輻射的特異度，及其敏感度高於前驅症狀判定方法等特性，此一檢測已成為輻射生物劑量計的黃金標準。此方法其中一個缺點是費時，依照標準方法，包括及時運到實驗室，處理收集到的樣品，然後提供劑量評估，處理所收集到的 500-1000 中期染色體約需要 4~5 天分析時間。因此大部分研究員每天評估不超過 300 個中期(metaphase)細胞。

然而，在 REAC/TS 的研究證明，在不同地方的「遠端」研究員可以利用網路來分擔工作量，這克服了固有瓶頸，從而減少進行劑量評估所需的時間。

許多實驗室都常規使用自動化的細胞中期搜尋器，從而加快了可評估細胞的定位及整個過程。此外，篩檢測試已經證明了評估少於 50 個細胞，九成左右和真實劑量的誤差不超過 +/-0.5 戈雷。這種程度的精確度已經被認為足以指引最初的臨床治療決策。

目前在細胞遺傳學劑量使用的其他方法包括胞質分裂阻滯微核試驗(cytokinesis-block micronucleus)、染色體易位法(chromosome translocation)、和早熟染色體凝集(premature chromosome condensation；PCC)檢測。微核試驗在評估方面的技術門檻較低，但也有較多的背景頻率差異，目前所知和細胞來源者的年齡和性別有關。

事實上，許多化學物質可誘發微核，因此，微核試驗較不具輻射特異性。基於這個理由，微核試驗通常被用作一般的毒物學篩選試驗。

染色體易位法主要是用來評估歷史曝露量，不同於雙中節和微核會在相對短時間內自週邊血液消失，染色體易位可以持續存在幾十年。染色體易位的檢測通常是透過使用被稱為染色體著色或螢光原位雜交(fluorescence in situ hybridization；FISH)的分子細胞遺傳學方法。在多數的研究中，染色體易位的頻率和細胞來源者的年齡息息相關。

早熟染色體凝集發生在細胞週期的間期階段，染色體被凝集誘發成形狀似中期染色體的情況。細胞固定和染色後，染色體會被進行確定染色體是否斷裂的碎片檢查。PCC 檢測可以在細胞被刺激達到有絲分裂染色體形成前，直接觀察輻射導致的損傷。如表 11 所示，PCC 檢測可以進行比雙中節法更高劑量的檢測，但這方法還需要進一步的驗證。表 11 提供實用的生物劑量測定技術指引。

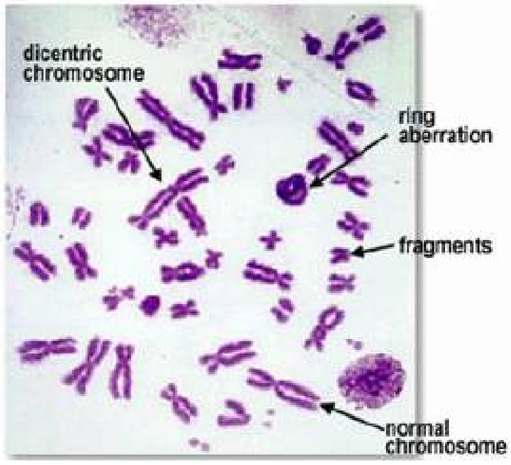
表 11—生物劑量估計選擇指引

劑量範圍(戈雷)	建議生物劑量測定法	臨床症狀
0.1-1	雙中節染色體檢測	血球計數輕微的下降，或沒有變化。
1.0-3.5	淋巴球耗竭動力學/雙中節法	輕度至重度骨髓損傷。
3.5-7.5	淋巴求耗竭動力學/PCC	全血球減少以及輕到中度的腸胃道損害。
7.5-10.0	淋巴球耗竭動力學/PCC	骨髓和腸胃道損害。
>10.0	PCC	腸胃、神經系統、和心血管的損害。

雙中節分析

雙中節染色體的形成是當兩條染色體在輻射曝露下斷裂成 2 個片段的染色體後，染色體錯誤修復、結合而形成具有兩個中節的染色體。雙中節染色體的數目與細胞的吸收劑量有關。在雙中節分析中，受刺激的淋巴細胞被捕獲，這些淋巴細胞

處於有絲分裂的中期，染色體因凝縮而可在顯微鏡下的載玻片上被看到。這個影像可以被電子化、上傳網路並讓許多讀者來分析中期細胞之雙中節染色體。



對照從體外曝露所產生的校正曲線，可根據每個細胞檢測到的雙中節染色體數量進行劑量評估。這個作法被普遍認為是在受曝露後短時間內(幾天-6 個月)檢測曝露劑量，最具特異性(specific)和敏感性(sensitivity)的方法(0.2 戈雷)。此外，利用統計技術可以確定身體接收到的劑量是否均勻分布。但若已受曝露超過 6 個月，這個方法的效果會大幅降低。主要是因為淋巴球的半衰期(例如代謝)所產生的不穩定性。

輻射導致的雙中節染色體在有絲分裂過程中並不穩定，因此在淋巴球再生時就會被清除。相反的，利用染色體易位在細胞分裂過程中的穩定性，可用染色體螢光原位雜交(FISH)進行測量。此方法可利用螢光顯微鏡檢測典型的 3 對染色體的螢光標記 DNA 探針之交換。染色體易位曾被用於二次大戰原子

彈爆炸倖存者和數十年前發生的民用輻射事故的劑量再分析。

胞質分裂阻滯微核試驗

胞質分裂阻滯微核試驗是另一個有效的生物劑量計。

相較於直接檢查染色體，微核試驗是一種間接的評估染色體損傷的方法，可在細胞週期的間期階段進行。微核是位於細胞質內的小型、圓至橢圓形結構，但是本質上不同於且分離於主細胞核。由於他們和主細胞核在形狀、質地、染色性質上皆類似，並同樣含有 DNA，微核很容易被當成染色體損傷(染色體斷裂)的標誌物。微核分析的優點為需要的技術門檻較低，可迅速進行，特別是可用自動掃描設備檢查，可分析 1000 個或更多的細胞樣品。這個測定已藉由胞質分裂阻滯法的導入獲得顯著改善，也被證明敏感度可達到 0.1 戈雷。在缺點方面，年齡和性別可能會影響試驗的結果。體外(in vitro)研究證明，1 戈雷劑量結果可能有 0.2 戈雷的不確定性；在活體(in vivo)研究方面，本法的低限值約為 0.3 戈雷。

早熟染色體凝集法

需要藉由淋巴球刺激來估計劑量的方法，此方法有一項限制是，當細胞接受更高的輻射劑量時也會經歷細胞週期的延遲，因而可能無法達到有絲分裂期。這可能會對吸收劑量造成很大的低估。然而，染色體可以藉由結合中國倉鼠卵巢(CHO- Chinese hamster ovary)有絲分裂細胞與人類淋巴球，在聚乙二醇(PEG- presence of polyethylene glycol)存在下強制早熟凝集。

PCC 測定也可以藉由培養淋巴球與蛋白磷酸酶抑製劑(如岡田酸)、腺苷三磷酸、與有絲分裂促進因子等化學方法進行誘發。當細胞必須被刺激進行有絲分裂時，PCC 檢測可以直接觀察早期的染色體損傷。這個檢測的低限值和雙中節染色體檢測是不一樣的，其偵測到之敏感度低於雙中節分析法。

電子順磁共振法

可測量人體曝露於游離輻射所誘發的變化，並據以決定吸收劑量。使用(electron paramagnetic resonance；EPR)來做生物劑量計，是基於該技術具備對固體組織的不成對電子的特異度和敏感度的量測能力，以比例推導出其吸收劑量。電子在含

水系統中，例如大多數生物組織中，壽命都很短(奈秒)；但在非水介質中，包括牙齒，骨骼，指甲，頭髮中就可以很穩定。EPR 在日本和前蘇聯已被使用於人口中脫落的牙齒，以體外分析方式估算輻射劑量，EPR 的有效性已經被證實。

體液和組織中的分子標記

分子標記(生物標誌物)所代表的是在生理層面上受到物理損壞的潛在變化(例如細胞溶解和細胞內蛋白質進入循環、氧化產物或 DNA 斷裂)，以及生物化學的潛在變化(例如新的代謝產物、或基因產物的變化)，和/或組織的細胞組成改變。這些標記包括蛋白質和小分子代謝物。

曝露於游離輻射後的幾分鐘到幾個小時，蛋白質就被修飾和活化，細胞的基因表現也發生廣泛性改變。

目前大約有 90 個已知的蛋白質，在曝露於游離輻射後，發生功能表現的變化或是轉譯後修飾，其中有一些變化具有劑量依賴性。

第八章—延遲效應

因輻射引起的延遲效應包含致癌作用、下一代的遺傳問題、晚期器官影響(血管病變，纖維和萎縮，以及甲狀腺功能障礙)、白內障及不孕。

肺部併發症

高劑量的輻射事故對肺部造成的傷害，可能會在輻射曝露後幾個月才出現。肺臟中對輻射影響最敏感的部位是肺泡/微血管，輻射引起的早期放射性肺損傷通常為瀰漫性肺泡損傷。肺部的急性劑量超過 800-1000 雷得(8-10 戈雷)時可能會引起這些併發症。

因輻射傷害產生的活性氧(ROS)會對肺部細胞直接產生毒性，所引發的一連串分子層次的事件改變了細胞激素的微觀環境，因而產生發炎和慢性氧化壓力週期。多種細胞激素被認為是肺臟損傷的指標。一般來說最後纖維化組織會取代正

常肺實質組織。根據不同的劑量/劑量率及肺的照射量，可能會產生急性輻射肺炎，其特徵是乾咳和呼吸困難，肺纖維化是晚期可能發生的併發症，會引起更嚴重的呼吸困難。

肺部的輻射長期效應研究

美國國家科學會第七屆游離輻射生物效應(BEIR)委員會，在2006 年的報告(BEIR VII，2006)，認為數學風險-劑量模型是目前所廣泛使用的。BEIR VII 委員會得出的結論是，延遲效應的最佳風險模型仍然是線性無低限(LNT)假設模型。

LNT 模型意味著延遲效應的風險在零劑量下為零(通過原點)，且隨著劑量的增加而呈線性上升。

2002 劑量系統(DS02)是根據廣島和長崎的核子武器事件最近期的劑量重建，從 1945 年就已經開始追蹤一群輻射傷害的倖存者。統計學上也明確的顯示，輻射會引起除了慢性淋巴白血病(CLL)以外其他各種白血病。除此之外，乳腺癌，甲狀腺癌，結腸癌，胃癌，肺癌，和卵巢癌也都曾被報導是輻射線

引起的腫瘤。

目前對於輻射線可能引發食道癌、肝癌、皮膚膀胱腫瘤、中樞神經系統腫瘤、多發性骨髓瘤和淋巴癌的研究仍不明確或沒有一致結果。

癌症的風險

各級醫療人員需要了解，經歷過輻射曝露的傷病患會對於輻射延遲效應產生的憂慮和心理壓力。我們可以使用美國癌症協會現行的統計結果(U.S. Mortality，2006，2009 presentation，http://www.cancer.org/docroot/stt/stt_o.asp?from=fast)來估算因癌症死亡的人口數。該協會指出，在 2006 年癌症佔了死亡原因的 23.1%。假設總人口數有 10 億人，依上面數字估算，將有 2.31 億人死於癌症。

根據 NCRP 第 115 號報告(1993)，勞動工作人口罹患致死性癌症的終生風險為每西弗 4%(每侖目 0.04%)，而一般人口為每西弗 5%(每侖目 0.05%)。換句話說，如果同樣的人群在他們

的一生中接收到了超過 10 侖目的劑量(0.1 西弗)，則會造成(1 千萬人)(0.0005/每人/每 10 侖目)＝5 萬左右的額外死亡數或是 10 侖目 0.5%(或在 100 侖目/1 西弗 5%)的額外死亡。

美國癌症協會表示，男性每 2 人就會有 1 人被診斷出癌症，女性則是每 3 人中會有 1 位。相當於有 42%的人在其一生中會被診斷出癌症。BEIR Ⅶ估計，在美國每 100 人中有 43 位在其一生中會被診斷出癌症；它還計算出，每 100 人中大約會有 1 人的癌症(~1%)是因為受到超出背景值單一劑量 10 侖目(0.1 西弗)所引起，這也表示輻射誘發的癌症比率大約是每西弗 10%。

讀者應該注意的是各聯邦機構、顧問團和國際委員會在風險估計上會有些微的不同(BEIR V 和 VII、國際原子能總署(IAEA)、國家輻射防護與度量委員會(NCRP)、環境保護署(EPA)、聯合國原子輻射效應科學委員會(UNSCEAR)等等)，但一般都是在上述範圍內。

這些資源，對於受到輻射照射傷患的醫療諮詢可能會有幫助，包含：

- ➔ 保健物理學會網站：「請教專家」網站 (http://hps.org/publicinformation/asktheexperts.cfm)
- ➔ BEIR V，VII 和 UNSCEAR 1988、2000 報告書
- ➔ NCRP、ICRP 的各種報告書，如 NCRP 第 115，ICRP 第 60 和 103 號報告
- ➔ 美國癌症協會網站：www.cancer.org

非癌症的效應

輻射也可能導致癌症以外的晚期效應。這些效應包括白內障(特別是對水晶體後極)、副甲狀旁腺機能亢進、T 細胞媒介的免疫反應、以及 B 細胞的體液免疫反應減低。子宮曾受曝露的胎兒，會出現新生兒水腦症、智能不足、生長及發育遲緩、低智商、在學校表現差等症狀。輻射誘發的白內障是已經被證實的，最常見的部位是在水晶體後極。中子輻射特別容易造成白內障。白內障形成的閾值劑量約 2 戈雷(分次劑量會更

大)。眼睛接受到 40 戈雷的話，則百分之百會形成白內障，潛伏期範圍從 2 個月到 35 年。在一般情況下，眼睛所受的輻射劑量增加，則傷害潛伏期會縮短。

輻射與懷孕

懷孕的婦女常會擔心輻射曝露可能對胎兒的影響。

胎兒的孕期是從最後一次月經開始計算(LMP)，平均約 280 天，可分成 3 個時期。在排卵期的前 2 周內，連續的生物事件包括受精，囊胚形成，從輸卵管送出後著床。

在懷孕前的輻射照射影響，在統計學上並沒有顯著的臨床意義。若胚胎在移出輸卵管的過程中受到輻射照射，一般會認為是全有或全無的結果。如果著床成功，就是一個成功的懷孕。懷孕的第一期是器官形成期，胚胎輻射敏感度較高在此時期，容易出現生長遲滯效應。

如果子宮劑量大於 0.5 戈雷，則生長發育遲緩、重大的先天性畸形、小頭畸形，都會是主要的影響。但並沒有報告指出外部照射誘發了胎兒的畸形，除非還有發育遲緩或中樞神經系統異常。造成智能不足最危險的時期是在胚胎發育之神經遷移期間(約 8-15 週)受到照射，其發生率和劑量成正比。

胎兒時期若接受到 1 戈雷的劑量，大約有 75%的機率將出現智能不足；相反地，在妊娠 16-25 週，劑量小於 0.5 戈雷不會增加胎兒的智能不足機率。高強度的輻射曝露是兒童白血病的明顯致病因子。日本原子彈倖存的成人，得到白血病的風險增加了 20 倍(慢性淋巴白血病除外)，通常在曝露後 6-8 年發生。子宮內曝露與兒童低劑量輻射曝露的研究則呈現了好壞參半的結果。

第九章—心理支持和風險

早期發現病患心理問題的跡象非常重要。因此，心理健康專業人員、神職人員等應考慮早期介入。由於風險是很個人化的概念，因此，真實經歷或是想像而來的輻射事件引發的人群焦慮可能是很難處理的。我們必須謹記，許多與輻射危害相關的資訊來源可能是錯誤的。根據「輻射事故的準備應變基礎(III)」，就心理學的角度而言(Ricks，et.al.，1990)，僅作訊息傳遞是不夠的。輻射事件的成功溝通是多面性的。例如：

- 媒體常常報導記者的觀點，而非陳述事實。
- 對科學家來說，客觀性就是從證據中尋找真相；對記者來說，客觀性可能只是平衡報導。
- 政治似乎比科學更有新聞價值。
- 宣告風險比宣告安全更能得到較多的新聞版面。

我們的觀念不全然是受媒體報導的影響，以前看過的漫畫、電視節目，都可以將放射性物質引起的輻射曝露和污染連結到「在黑暗中發光」，及輻射曝露後立即發生嚴重的「輻射疾

病」、基因突變和遺傳效應等等。不管怎樣的誤導方向，重要的還是了解這些錯誤訊息造成的影響。

立即的心理反應

桑德曼(Sandman)在『環境風險解說』(1986)中認為，在人們應該提高警覺時提醒他們；在他們應該得到安慰時安慰他們，是有必要的。輻射會引發恐懼。通常這種因為輻射事件引發的恐懼擔心並沒有醫學上的意義。少數人的輻射疾病症狀，會對於整個社區或應變人員/照護人員，產生毀滅性的心理效應。這種急性焦慮可能會形成潛在情緒壓力的重要來源。由 REAC/TS 裡的經驗來看，許多人急性輻射症候群的前驅症狀的表現，特別是噁心，通常是因為焦慮所引起的。重要的是，應變人員和醫護人員要能夠辨別真正的受害者和單純只是害怕的人之間的差異。

長期的心理影響

因為輻射曝露引起的長期心理影響可能會在曝露多年之後才表現出來。那些遭受輻射曝露者—或自己認為可能受到曝露的人—可能會感到無助脆弱、創傷後壓力、慢性焦慮、和失

去控制。病患也可能會擔心後代子孫的安全。

受到影響的的人可能會陷入以下 3 種狀況：(1)覺得苦惱；(2)行為改變；(3)產生精神疾病。

常見的反應為悲傷、憤怒、恐懼、難以入眠、注意力不集中、多疑、或非特異性身體症狀。這種情況通常被稱為「多發性不明軀體症狀 (multiple idiopathic physical symptoms；MIPS)」，每個人的症狀可能都不一樣，大多數的人隨著時間的經過會有所改善，但少部分的人則是根本沒有改善。醫師和心理學家必須記得，沒有病史的人在輻射曝露後會更容易得到精神疾病，這也包括緊急應變人員和現場的醫療人員在內。

治療

輻射事件發生後，那些懷疑自己有受到影響的人會轉向信任醫護人員或提供資訊與指示的導引人員，因此醫護人員對於受到輻射事件影響人群的長期照護和醫療監測方面，扮演了決定性的重大角色。一般醫護人員應該要能夠提供適當的訊息，來照顧這些有潛在的長期效應或受輻射傷害的患者，並

可積極轉介患者到精神科或進行心理輔導。

一個組織良好和持續有效的醫療應變可以帶來希望和信心，減少恐懼和焦慮，並維持基本功能的連續性。傷患的處理應要提供即時、以及預期性的初步心理處置，以減少長期性的後果。換句話說，治療地點離家近、儘早治療、與患者溝通來知道他們的需求，才能讓他們回復正常的生活。

雖然可以很快的獲得最初的輻射劑量估計，但最終結果出來前，還是需要一段時間。在這段時間內，確保專家間的共識，從而給予一致的訊息，可以幫助減輕病人的恐懼和憤怒。

對醫護人員和應變人員的影響

1987 年 9 月 30 日，巴西圭亞那發生了一個大型的輻射事故，肇因於有人從一間廢棄的診所移走了 Cs-137 放射治療裝置，並且弄破了射源的密封容器，那些人並不瞭解輻射/污染危害。輻射事故發生後 2 周半才被發現，但當時已經造成 4 人死亡。這個事件不僅是輻射照射/污染處置方面很好的案例研究，也能深入了解輻射事故心理方面的問題。更多訊息請見：國際原子能總署報告：圭亞那輻射事故

(http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub815_web.pdf)

就如同在這個事件中的社區成員一樣，受害者和他們的家庭所經歷的心理問題顯然也需要解決。但是值得注意的是在圭亞那事件中，應變人員的心理影響，差別很大且取決於多種因素，例如個人的人格特質、應對壓力的能力、應變人員所參與的事故階段、及應變人員所進行的工作。影響最大的是最先發現事件及必須去面對受害者的早期健康效應的人員，各種專家對應變人員進行了心理影響的調查，參與 0-2 個月時間(10 月和 11 月)的應變人員，專家報告 100%都有心理影響，而參與隔年 1 月和 2 月應變工作的人則是 50%有影響。應變人員的感覺包括內疚、同情和無助。

初期應變人員的工作情況對心理狀態造成很大的影響，在不熟悉和不舒服的環境條件下(放射性污染，必要的防護衣等等)，他們每天工作 12 小時，溫度高達華氏 100 度。群眾的憂慮以及恐懼，有時會造成意想不到的衝突。而且可以預期的是，大規模緊急應變初期階段的混亂會使問題加劇(Ricks，et. al.，1990)。

許多緊急應變人員報告說，他們注意到同事的行為改變，如增加酒精的使用和攻擊行為，同時也可以看到其他壓力的跡象。顯然不論是在現場、醫院或是診所，給予緊急應變人員支持是很重要的。

可以考慮給予的建議如下：

➔ 鼓勵工作人員們談談他們的壓力，壓力可以透過宣洩來緩解(減壓)。

➔ 注意行為的改變，試圖了解背後的原因。

➔ 於團隊領導者分派工作、進行決策時給予協助，確保指派人員能做對的工作，以及公平公正地分配工作量(和輻射劑量)。

➔ 考慮進行指派任務前，工作人員的人格和心理評估。

不可否認地，巴西圭亞那的 Cs-137 事件並不是大多數醫護人員所預期參與應變的事件類型，然而它確實提供了人們在壓力下的反應，以及在具有輻射的環境下工作，可能會感覺不舒服，甚至有危險的一些概念。團隊成員需要彼此照顧，這才是在醫院和現場應變的真理。

附錄 A：傷病患處理流程(REAC/TS)

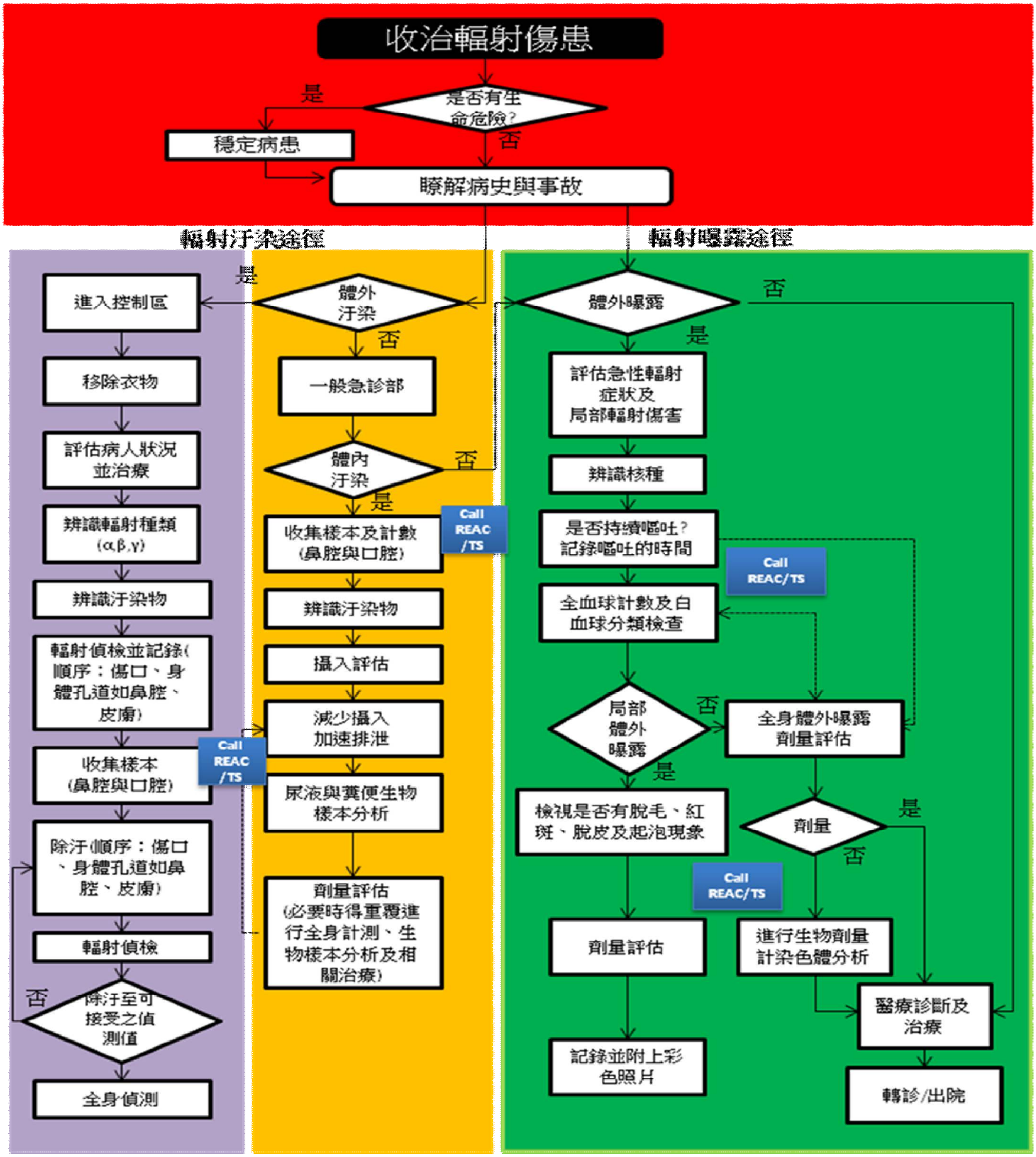


表 12—皮膚損傷的約略閾值與急性劑量

約略劑量	預測效應	曝露時間
3 戈雷	脫毛	14-21 天
6 戈雷	紅斑	早期，及 14-21 天之後
10-15 戈雷	乾燥脫屑	2-3 周
15-25 戈雷	濕式脫屑	2-3 周
>25 戈雷	深部潰瘍/壞死	依劑量而定

高劑量時，發病徵兆/症狀的時間可以被壓縮(提早)。

表 13—急性輻射症候群的約略閾值

劑量	症候群	徵象/症狀*
0-1 戈雷	N/A	一般無症狀，淋巴球數量可能在之後稍微下降(在接近 1 戈雷的情形)
>1 戈雷	造血	厭食，噁心，嘔吐，顆粒性白血球增多，淋巴球低下
>6-8 戈雷	腸胃道	早期嚴重的嘔吐，水樣腹瀉，全血球低下
>20 戈雷	心血管/中樞神經系統	第一個小時內的噁心/嘔吐，虛脫，步態不穩，精神錯亂

表 14—活度單位轉換

1 terabecquerel	1 TBq	27 curies
1 gigabecquerel	1 GBq	27 millicuries
1 megabecquerel	1 MBq	27 microcuries
1 kilobecquerel	1 kBq	27 nanocuries
1 becquerel	1 Bq	27 picocuries
1 kilocurie	1 kCi	37 terabecquerels
1 curie	1 Ci	37 gigabecquerels
1 millicurie	1 mCi	37 megabecquerels
1 microcurie	1 µCi	37 kilobecquerels
1 nanocurie	1 nC1	37 becquerels(貝克)

表 15—等效劑量/等價劑量單位轉換

1 sievert	1 Sv	100 rem
1 millisievert	1 mSv	100 millirem
1 microsievert	1 µSv	100 microrem
1 rem	1 rem	10 millisieverts(毫西弗)
1 millirem	1 mrem	10 microsieverts(微西弗)
1 microrem	1 µrem	10 nanosieverts

表 16—吸收劑量單位轉換

1 gray	1 Gy	100 rad
1 milligray	1 mGy	100 millirad(毫雷得)
1 microgray	1 µGy	100 microrad(微雷得)
1 rad	1 rad	10 milligrays(毫戈雷)
1 millirad	1 mrad	10 micrograys(微戈雷)
1 microrad	1 µrad	10 nanograys

表 17—量測單位標準符號

倍數	字首	符號
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^{9}	giga	G
10^{6}	mega	M
10^{3}	kilo	k
10^{2}	hecto	h
10^{1}	deka	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	milli	m
10^{-6}	micro	μ
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

表 18—名詞縮寫

ALC	絕對淋巴球數
ALI	年攝入限度
ANC	絕對嗜中性球數
ARS	急性輻射症候群
BAT	生物劑量測定評估工具
BEIR	游離輻射的生物效應
Bq	貝克
CBC	全血球計數
Ci	居里
CLL	慢性淋巴球性白血病
CPM	每分鐘計數
CRP	C-反應蛋白
CSF	聚落刺激因子
DPM	每分鐘衰變數
DRD	直接讀出劑量

DTPA	二亞乙三胺五乙酸
DU	貧化鈾
EDTA	乙二胺四乙酸
FDA	食品藥物管理局
FISH	螢光原位雜合技術
G-CSF	顆粒球聚落刺激因子
GI	胃腸道
G-M	蓋革—米勒
GM-CSF	顆粒—巨噬細胞聚落刺激因子
Gy	戈雷
ICRP	國際輻射防護委員會
IND	簡易核子裝置
KI	碘化鉀
LD	致死劑量
NCRP	國家輻射防護委員會
PCC	早熟染色體凝集

QD	每天
QF	射質因子
RDD	輻射散佈裝置
REAC/TS	輻射緊急事件支援及訓練中心
RES	輻射曝露狀態
s.c.	皮下
Sv	西弗
UNSCEAR	聯合國原子輻射效應科學委員會
WBC	白血球細胞計數 (有時候代表：全身計數 whole body count)

表 19—各種元素的縮寫

Am—鋂	H—氫	Sr—鍶
Cf—鉲	I—碘	Tc—鎝
C—碳	Ir—銥	U—鈾
Cs—銫	P—磷	
Co—鈷	Pu—鈽	

附錄 B：美國輻傷應變資源

美國能源部–美國國家核子保安總署**(NNSA)：**

http://nnsa.energy.gov—美國國家核子保安總署要確保國家對於任何該部門或能源設施而言的緊急情況，都有能力進行適當處置。

它也是美國針對任何在境內或境外的核輻射事件，提供操作規劃和培訓，以對付國內和國際間的核子恐怖主義的首要應變單位。

美國陸軍輻射生物學研究所(AFRRI)：

www.affrri.usuhs.mil—AFRRI 的使命是保護美國軍事人員的健康和表現，並經由研究與了解游離輻射的影響以保護人類。為此，研究所與其他政府機構，學術機構，以及在美國和其他國家的民間實驗室合作研究游離輻射的生物效應。此外還提供醫療培訓和輻射曝露事件相關的緊急處置。類似的袖珍指南(輻射傷患的醫療處置，第三版，2009)是由 AFRRI 編寫以協助軍事醫療操作的指引。

USG DHHS 輻射緊急醫療處置(REMM)：

www.remm.nlm.gov—美國健康與人類服務部(類似我國的衛生福利部)之下的一個單位。REMM 提供輻射事件診斷和醫療人員治療傷病患的指引。主要功能：(1)為以醫師為主的醫療人員，提供大規模輻射/核子傷亡事故的臨床診斷和治療的指引；(2)在沒有正式的輻射醫學專業，但足夠的醫療背景和環境下，提供及

時、以實證為基礎的可用的訊息，使複雜的問題可以被理解；(3)提供以網路為基礎的訊息，並可以預先下載，以便在沒有網路狀態也可以使用。

國際原子能總署(IAEA)—IAEA 的應變系統：

www-ns.iaea.org/tech-areas/emergency/iaea-response-system.asp—國際原子能總署的首要目標是促進：(1)各國官方/相關國際組織的即時訊息交換；(2)因應國家/相關國際組織的要求，提供援助/諮詢；(3)提供相關、即時、真實、前後一致和適當的公眾訊息。REAC/TS 是聯合國機構國際原子能總署應變援助網絡(RANET)的成員。

世界衛生組織(WHO)—輻射緊急醫療準備和協助網路(REMPAN)：

該網路被用於為過度曝露輻射的人，提供緊急醫療和公共衛生協助。它也協助輻射事故受害者的長期照護和追蹤，以及進行輻射急救醫學、放射治療、生物劑量測定和輻射流行病學各方面的研究。REAC/TS 是 WHO/REMPAN 的共同研究合作中心。

疾病管制與預防中心(CDC)—緊急準備和應變：

www.bt.cdc.gov/radiation—美國政府的網站，旨在提高對於包括輻射事件在內，美國國內突發之公共衛生事件的應變能力。

不分晝夜．真情守候

行政院原子能委員會
ATOMIC ENERGY COUNCIL, EXECUTIVE YUAN
地址 新北市永和區成功路一段80號2樓
電話 (02)8231-7919
傳真 (02)8231-7833
核安監管中心24小時通報專線 0800-088-928或(02)8231-7250
網址 http://www.aec.gov.tw