

長，我國正逐漸進入高齡化社會，國人近年來普遍重視個人健康，在此同時，國內各大醫院亦陸續引進各類新型醫療儀器服務大眾。在這些新型儀器中有一種可用來測定人體骨骼密度的骨質密度儀，可用來測定中老年人(尤其是婦女在停經後)的骨質密度，對於預防及治療骨質病變有極好的效用。

雖然骨質密度儀使用放射線(X光或加馬射線)做為檢測的工具；一般而言，其放射線能量非常低，且照射面積亦非常小，所以對病患或工作人員所造成的劑量不會太大。但為能確實了解其劑量情形及建立骨質密度精準度測試的方法，原子能委員會自八十五年七月起委託陽明大學醫事技術系放射組進行一項「放射性骨質密度精準度測定及輻射安全考量之研究」計畫，計畫內容包括製作一套可供測試骨質密度精準的假體，利用熱發光劑量計(TLD)對骨質密度儀周圍環境之散射輻射劑量分布，作完整的分析與探討。

根據初步獲得的研究成果顯示，做一次骨質密度測定約接受10微西弗的輻射劑量，只有照一次胸部X光劑量的二十分之一，就輻射防護的觀點而言可說是非常安全。在環境測量方面，以每日檢查15人次，一年檢查3000人次評估，距儀器射束1公尺處的年劑量約為2.5毫西弗，遠低於法規對從事輻射工作人員的年劑量限值50毫西弗。

由於目前國內使用的骨質密度儀，其中所採用的骨質密度標準多為西方人的標準，希望藉此項研究先建立一套高公信力的骨質密度假體，及定期品質確認與校正的程序與方法，可提供國內醫界建立國人自己的骨質密度標準。

▲低放射性廢料境外處置的安全管理

(原能會)

最終處置是澈底解決放射性廢料的根本方法，目前台電公司除在國內積極尋找處置地點外，並尋求送往國外處置的可能性。近來，有關境外合作處置的問題，已逐漸受到國人的關心與重視，原能會為原子能主管機關，負責放射性廢料的安全監督與管制工作，有必要就境外處置的法律、政策及管理等相关事項，向社會大眾做一明確說明。

一、法律層面

依據「原子能法」第廿六條規定，放射性廢料之輸出，非經原能會核准發給證明書，並依照有關法令之規定，不得為之。因此，未來台電公司若欲將放射性廢料運往國外處置，依法應先向原能會提出申請。

二、政策層面

依據「原子能應用發展方針」，我國目前

除在國內自行尋覓放射性廢料處置場址外，並積極尋求在國外處置及區域性合作之可能性。因此，在管理策略上，目前係採境內、境外並重原則；但即使境外處置可行，仍需在境內覓妥場址備用，以應不時之需。

三、國際規範層面

依據「巴塞爾公約」第一條第三項規定，關於放射性物料之管制應依專門的國際規範規定，而不屬於巴塞爾公約的適用範圍。聯合國的國際原子能總署，並未禁止放射性廢料的境外合作處置，總署也訂有「放射性廢料跨國運送施行法規」，作為放射性廢料境外輸出運送的管理規範。

四、原能會的管制原則

在境外處置的安全保障方面，原能會的基本管制原則為，不論處置地點為何，必須符合國際原子能總署之規範，並應符合接收國之安全規定，以保障接收國之民眾與環境安全。

五、原能會的管制規範

在境外處置的安全管理上，原能會已訂定「低放射性廢料申請輸出作業須知」，將來台電公司申請廢料輸出時，應檢附接收國主管機關之輸入許可證明文件且經外交部駐外單位之文書驗證。此外，並要求檢附輸出計畫、運送計畫及接收機構之設施運轉許可證明等文件，以供原能會審查。

在廢料運送的安全管理上，原能會已訂定「放射性物質安全運送規則」、「放射性廢料運送計畫書導則」及「放射性廢料運送緊急應變計畫導則」，作為審查運送計畫之依據。此外，原能會也已訂定「低放射性廢料船舶運送輻射安全規範」，要求運送船舶應具有各項放射性偵檢設備，並要求境外運送應符合國際原子能總署訂定之放射性物質安全運送規則。

▲原科中心疑遭下毒事件說明

(清大原科中心)

清華大學原子科學技術發展中心林姓員工，於日前懷疑其摩托車把手遭人塗抹含輻射之氘水，以至於造成其身體不適及失眠。本中心基於關懷同仁之立場，已儘速分析林先生三月十一日及十二日之尿液樣品，經多次化驗結果，均顯示林先生並未遭受氘水污染。另外，林先生在三月十三日上午完成全身輻射計測，亦未發現任何人造輻射污染。林先生已接受此量測結果，亦對其未經確認，即自行發佈消息之作法，深感歉意。

本中心對於放射性同位素之採購、使用、儲存、報廢，一向均遵照原子能委員會之法規執行管制，並接受原子能委員會之稽查，今後更當認真管制，以確保輻射安全。本中心對於

此次子虛烏有之輻射污染事件，造成民眾、政府及師生同仁之關切，深表遺憾。

▲核子醫學的輻射安全

(高醫冀文琪、張寶樹)

根據高雄醫學院附設醫院(高醫)一項的研究調查顯示，高醫核子醫學的放射同位素造影，主要所使用的核種為鎳99m，其次為鎂67、鉍201、碘131。核醫造影所造成的等價劑量以骨骼造影的82.6%居第一位，其次為腦部造影的7.8%。此項調查評估每位核醫病患所得到的平均有效劑量為 3.01 ± 0.18 毫西弗(mSv)。若以原子能委員會的全國醫用非密封放射性物

質輸入量統計資料(民國78至84年)為依據，則國內每位核醫病患所得到的平均有效劑量為 2.53 ± 0.16 毫西弗，每年每一人口的平均劑量約為0.01毫西弗，此值遠低於天然輻射每年約2毫西弗的劑量值。國內的醫用非密封放射性物質，民國78至84年的總使用量為9,251居里(Ci)，使用量的平均年成長率為16.6%，民國78至84年所花費的總金額為279,020萬元，價格的平均年成長率為5.6%，其中以鎳99m的使用量為最大宗，占總使用量的84.3%，但其所花費的金額僅占總金額的7.3%。高醫的此項研究調查結果，可供國內核醫藥物研製單位與輻射安全管制單位的參考。

▲考試消息

(原能會)

考試類別	報名日期及方式	考試日期	考試地點	備註
輻防人員認可測驗	3月17日~3月22日 通訊報名	05月03日(六)	台北(國家考場)	簡章2月22日起開始發售，洽原能會服務台(02)3634180-159

☐會議訓練報導

▲八十五年度輻協各項訓練班預定時間表

(輻協)

班 別	訓 練 日 期	上 課 地 點	聯 絡 人
鋼材班	86年04月22日至23日	新竹清大	蔡 親 賢
	06月24日至25日	高雄	"
非醫用班	86年04月14日至19日	新竹清大	李 貞 君
	05月05日至10日	"	"
	05月19日至24日	高雄	"
	06月16日至21日	新竹清大	"
輻防班	86年4月14日至5月9日	新竹聖經書院	邱 靜 宜

◎以上各項訓練班簡章備索，電話：(03)5722224

▲「邁向廿一世紀核能新紀元研討會」總結報告

(原能會)

原子能委員會於日前舉辦之「邁向廿一世紀核能新紀元研討會」，召集各級主管及相關同仁研討在面對即將到來之廿一世紀，原能會應建立之前瞻性及務實作為。主席蘇副主委在致詞時指出，從一九九七年開始，原能會即有多項重大任務開始執行，如原子能科技五年中程計畫、核四廠相關建廠計畫審查、放射性廢料處置管理及核研所T R R II計畫等，除有延續性並為跨世紀之工作。落實行政革新，與提

昇服務效能，藉以配合政府大力推動的亞太營運中心之建立，均是原能會今後的重大施政方向，期勉同仁共同努力。

經過熱烈的討論及共識的建立，研

討會的三個分組最後提出以下之主要結論：

一、核能安全分組：

加強核能科技人才培育，充實各應用領域人力需求。

積極與學術界交流，落實原子能科技五年中程計畫。

開拓核能新視野，創造民生應用新發展。

二、輻射安全分組：

簡化管制流程，落實安全制度。
 建立各項輻防新標準，提昇國家實驗室層次。
 以讓民眾放心的科技及放心的管制為最高
 設置行政革新檢討小組，研訂提案改善制度。
 原能會將在一致的共識之下，努力改造體質並提昇效能，以嶄新的服務理念，創造真正的核能新紀元。

理想。
 三、行政革新分組：
 以走入群眾、服務群眾、結合群眾、建立專業公信力為目標。

▲各種會議、研討會、講習及學術演講時間表 (輻協)

活動名稱	時間	地點	連絡人
一九九七國際輻射劑量暨安全會議	86年03月31日 至 86年04月02日	台北	錫安公司 袁述芳小姐 (02)5236017
T L D的發展趨勢	86年04月03日 09:30~11:30	清大原科系 會議室	陳拓榮先生 (03)5715131轉4216
醫用游離輻射講習班	86年04月07日 至 86年04月10日	陽明大學	醫用班 朱瑞星小姐 (02)8217486
微劑量學在BNCT的研究研討會	86年04月10日 10:00~12:00	清大原科系 演講廳	陳拓榮先生 (03)5715131轉4216
Characteristics of New Thermoluminescent Materials	86年04月22日 13:30~15:00	核研所 保物組教室	葉善宏博士 (03)4711400轉7623 或轉7606
核醫輻射防護講習班	86年05月03日	台北(三總)	中華民國核醫學學會 程嘉璿小姐 (02)3653346
從法律觀點探討輻安資料的管理	86年05月06日 13:30~15:00	核研所 保物組教室	葉善宏博士 (03)4711400轉7623

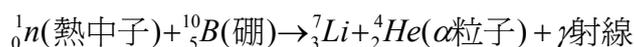
本欄歡迎各界提供八十六年輻防相關會議訊息。
 連絡人輻防協會李孝華小姐TEL：(03)5722224、FAX：(03)5722521

□專題報導

▲微劑量學在BNCT的應用

(清大 董傳中、許芳裕)

硼中子捕獲治療法(Boron Neutron Capture Therapy, 簡稱BNCT)是利用藥物將穩定的硼同位素(B-10)帶入人體內，並在腫瘤細胞中累積，然後以中子束照射，使中子和硼發生反應，放出高游離密度之輻射殺死腫瘤細胞，同時避免傷及正常細胞。硼對中子具有極高的吸收截面(作用機率)，當中子照射硼時，所發生之反應如下：



當硼吸收中子受激後，就會產生 α 粒子及Li-7重核，而 α 粒子及Li-7重核都具有高的線性能量轉移(LET)與短的射程(在人體組織中約為1~10 μ m)，對細胞具有強大的殺傷力，因此我們利用它有效的殺死腫瘤細胞而不影響正常細胞。

BNCT治療癌病的最大優點在於藉由硼中子

捕獲所產生之高游離密度的粒子輻射可以有效的殺死癌細胞。在相同吸收劑量的條件下，不同游離密度之輻射產生的生物效應相對效果稱為輻射品質(radiation quality)，游離密度愈大，輻射品質就愈高。以生物劑量學的觀點來

探討BNCT，研究的主題應包括：中子在細胞靶分子中的劑量與品質。由於影響生物效應之靶分子的尺寸通常在10nm至10 μ m之間，因此要評估BNCT中各種輻射殺死癌細胞的有效輻射品質，必須從微劑量學的觀點加以研究。微劑量學是指輻射在細胞中靶分子內的微觀劑量分佈，此一分佈對高游離密度的粒子輻射而言，多呈一極不對稱的形狀，其平均值(即吸收劑量)與最可能值(most probable value)之間的差異很大，即為統計離散(straggling)現象，此一現象直接影響輻射品質的大小。微劑量學的特色在於採用機率性物理量(stochastic quantity)，包括能量比度(specific energy)及線性能量(Lineal energy)等，探討靶分子內吸收能量的統計分佈，並建立適當的生物效應模式，以解釋高游離密度輻射之較大相對生物效應的現象。

目前清華大學與核能研究所在BNCT的研究上，分別針對清華水池式反應器及核研所TRR2反應器的中子束，在中子屏蔽、藥物研發、生物實驗等方向進行研究。在微劑量學的研究上，清華大學將與美國哥倫比亞大學的武承嗣教授合作，交換心得與意見，以加速國內對微劑量學的研究成效。武承嗣教授接受清華大學的邀請，訂於四月十日於原科中心舉辦一場微劑量學在BNCT研究的研討會，歡迎各界人士共同參與討論。

▲ 低劑量輻射在多階段致癌的歷程中所扮演的角色

(核研所 邱志宏)

1996年6月份Health Physics 期刊，James E. Trosko 氏為文「Role of Low-Level Ionizing Radiation in Multi-Step Carcinogenic Process」，根據試管及體內試驗的結果和流行病學調查顯示，人體致癌歷程是由許多外在和內在的因素所造成，致癌不是由單一因素所造成。該文說明人體致癌的理論和輻射在致癌歷程所扮演的角色，茲摘其重點介紹如下：

(一) 低劑量的輻射會引起癌症嗎？

從動物實驗和人體觀察，因為高劑量的輻射會引發基因突變，因此推論輻射與人體致癌有相關性。然而致癌的歷程既複雜且為多階段，故癥結在低劑量輻射到底在哪一階段中影響到致癌的歷程？以何種機制造成影響？由於人體自然得癌的機率很高，且低劑量輻射引發癌症的機會又很低，使我們難以回答上述的問題。影響致癌的因素包括基因的敏感性、形成基因的階段、性別、飲食習慣、醫療照顧、生活方式、其他生物的物理因素等等，低劑量輻

射與致癌作用的因果關係極難確定。

(二) 致癌的歷程

1. 細胞(stem cell)致癌論：

相信癌症是由單一細胞的分裂繁殖因為突變或逐漸改變，導致無法停止分裂而造成。因此組織內的幹細胞(註：能產生特殊化後裔的母細胞，主要分布在骨髓，脾臟內也有少量存在。各種血球均由幹細胞分化而成)，被認為可能是致癌歷程中的靶細胞。組織內幹細胞的數量和它所處的週期狀態都將影響它被照射時對輻射的敏感度。例如懷孕時期乳房組織裡的幹細胞數量增多，因此在原爆存活性者所觀察到各種的固體癌中，得乳癌的風險度是最高的。

2. 發期/促進期/進展期三階段致癌論：

組織的幹細胞因受到某些物質的影響而改變它抑制細胞增殖的基因，導致細胞增殖異常活躍，這階段稱為「初發期」的細胞。初發期的細胞還不算是癌細胞，因為有可能被周圍的正常細胞所抑制。假使這些束縛被各種刺激所克服，或初發期細胞的自毀死亡因子受其他物質影響而變異成不死，該細胞開始不斷增殖、分裂並累積在組織中，此階段稱為致癌歷程的「促進期」，異常增殖的細胞變成癌細胞。

刺激的來源有內在和外在的，都促使DNA傾向易於造成錯誤的複製或不完善的修補，使處於依賴性的促進期細胞(不一定是惡性)開始轉變成獨立性促進期的惡性癌細胞，致癌歷程由促進期進入「進展期」，癌細胞繼續惡化。

(三) 在致癌過程中低劑量輻射的可能角色

雖然高劑量輻射引發部分基因被消除，使基因重組、打斷與重組染色體，亦會引發點突變，低劑量輻射是否也具有相同作用使組織裡的幹細胞無法停止分裂，而扮演為致癌歷程的「引發者」角色？一些研究輻射致癌理論者認為，輻射是弱的引發者，是有效的進展者(與其他致癌因素相比)。近年許多試管試驗顯示輻射可能影響某些基因複製的活力，或使某些蛋白質的轉譯產生改變，這也提示低劑量輻射可能扮演有絲分裂原或腫瘤促進者角色。此外，輻射扮演刪除基因的誘變劑可能性較大，因腫瘤抑制基因被刪除致使癌細胞得以繁衍增殖，也可能是受輻射的作用引起。

從細胞自毀犧牲的角度來看，幹細胞比它子孫代的細胞對輻射較為敏感。1994年Potten氏證實小腸濾胞腺內幹細胞比子孫代細胞對輻射較敏感。由於幹細胞易受輻射影響而產生自毀作用，因此低劑量輻射便能使小腸細胞增加自毀死亡的頻率，因而容易消除可能受損的細胞，這些受損細胞可能演變成癌症。

細胞的氧化還原狀態改變，會使正常但不

穩定的p53腫瘤抑制蛋白發生可逆性轉變成類似p53的突變體。因為p53基因的突變是人體癌細胞中最常見的突變，因此若失掉p53抑制腫瘤的基因或失去細胞自毀死亡的功能時，將在致癌歷程的最後階段(進展期)產生重大影響。如果輻射改變細胞的氧化還原狀態，將逐漸改變p53蛋白而使細胞不斷增殖。

(四) 要推論輻射致癌到不同種族時，須要考慮的因素：

1. 絕不可將各種試管試驗或動物試驗的結果推論到人類身上。要將廣島、長崎做的流行病學調查結果做推論時，也是極其不易的事，因為至今尚無人能確切指證某一疾病是因輻射所引起。

▲ 游離輻射曝露限度1993年NCRP之新建議
(核研所 陳煥東、蘇明峰)

民國八十年七月原子能委員會修正發布“游離輻射防護安全標準”，其中部份修訂內容以1977年ICRP出版的26號報告為參考依據。在1977年之後ICRP又相繼出版了多份報告，在這段期間NCRP也不斷與ICRP等互相參考引用而陸續推出新的報告。近十年來，有關職業曝露或一般人的劑量限制，在1987年NCRP推出91號報告，1991年ICRP推出60號報告後，經過不斷的資料蒐集，數據研討後，NCRP復於1993年推出116號報告。報告中所提到的劑量限度與“游離輻射防護安全標準”內所提到的多少有些相異，甚至部份名詞的定義更趨實際，值得爾後“游離輻射防護安全標準”再做修訂時的參考。茲將可做修訂時參考的內容刊於后：

A. 職業曝露方面有五項新修訂：

- (1) 累積有效劑量不得超過10毫西弗×個人之年齡，
- (2) 年限度仍為50毫西弗，但此處所指僅為年有效劑量率的最上限，而非每年都可以達此上限，
- (3) 從業人員若為懷孕婦女，對於胚胎或胎兒所建議的等值劑量限度為每個月不得超過0.5毫西弗。依此建議，不需對胚胎或胎兒之總累積等值劑量再做限制，
- (4) 新的輻射場所或新的輻射作業在設計上應該使用比10毫西弗小的值為工作人員之年劑量限度，以確保該員之終身劑量小於限度，

2. 癌症不是單一原因造成，人們在歸咎增加癌症是由其原因造成時，必須非常小心。
3. 接受最高輻射劑量的個人很可能也是由非輻射因素引起最大傷害的同一人。因為輻射不是唯一的致癌原因。
4. 到目前為止，從核爆後倖存者流行病學調查，可以建議(至少不衝突)：致癌機率與接受輻射劑量呈正比例直線相關性，且無低限劑量。
5. 致癌的歷程是由非常複雜的基因、性別、癌細胞發展的狀態和環境等因素交互作用後的結果，這些眾多因素的交互作用與目前我們瞭解的多階段、多機制的致癌歷程可能有關連。

- (5) 工作人員年攝入限度(ALI)20毫西弗，仍維持同樣的等效劑量值，但已更名為年攝入參考基準，ARLI。

B. 一般人曝露方面有兩項新修訂：

- (1) 長期連續曝露的情況，年有效劑量限度為1毫西弗，至於非經常性曝露狀況則限度為5毫西弗。上述均不含天然背景輻射及醫用輻射，
- (2) 對天然輻射所造成的曝露，NCRP對一般人提出改善行動基準的建議。對於不包含氦及其子核曝露之其他天然輻射，其基準值為年平均有效劑量5毫西弗，至於氦及其子核所造成之天然輻射曝露，基準值為 7×10^{-3} 焦耳時/立方公尺(Jhm^{-3})或為2倍工作基準月(WLM)。

另一個重要的改變為引介“輻射加權因數”， W_R ，以取代目前的射質因數， Q ， W_R 值可由光子的最低值1，到阿伐粒子或1百萬電子伏特中子的最高值20。

又“個人可忽略劑量”，NID，也是另一個引介的觀念。NCRP建議年有效劑量0.01毫西弗為界，若劑量低於此值，則可以不必再操顧慮之心了。

為便於了解前述各項修訂的演變過程，以職業劑量限度為例，分別在游離輻射防護安全標準、NCRP91、ICRP60以及NCRP116所做的描述概列於表一。表二則詳細地將NCRP116號報告所做的各項建議與目前國內採用的游離輻射防護安全標準加以歸類比較。

表一 職業曝露劑量限度建議值之演變

職業劑量限度	NCRP 91 (1987)	ICRP 60 (1991)	NCRP 116 (1993)
機率效應	年有效等效劑量限度 50mSv	年有效劑量限度 50mSv	年有效劑量限度 50mSv
	累積有效等效劑量 10mSv×年齡	5年累積有效 劑量限度100mSv	累積有效劑量 10mSv×年齡
確定效應	眼球水晶體年等效 劑量限度150mSv	眼球水晶體年等值 劑量限度150mSv	眼球水晶體年等值 劑量限度150mSv
	其他器官組織年等效 劑量限度500mSv	皮膚手足年等值 劑量限度500mSv	皮膚手足年等值 劑量限度500mSv
年攝入限度(ALI)	$\frac{50mSv}{H_E(50)Bq^{-1}}$	$\frac{20mSv}{E(50)Bq^{-1}}$	
年攝入參考基準			$\frac{20mSv}{E(50)Bq^{-1}} (ARLI)$

表二 NCRP-116建議及游離輻射防護安全標準各劑量限度之比較

職業曝露	NCRP-116劑量限度	游離輻射安全標準限度
有效劑量限度		
年	50mSv	有效等效劑量限度 50mSv
累積	10mSv×年齡	
組織器官年等值劑量限度		
眼球水晶體	150mSv	150mSv
皮膚手足	500mSv	500mSv
一般人曝露		
年有效劑量限度	NCRP-116劑量限度	游離輻射安全標準限度
長期連續曝露	1mSv	年有效等效劑量限度 5mSv
非經常性曝露	5mSv	
組織器官年等值劑量限度		
眼球水晶體	15mSv	個別組織器官年等效劑量限度50mSv
皮膚手足	50mSv	
天然背景輻射補救行動		
有效劑量氬除外	≥ 5mSv	
氫子核曝露	≥ 7×10 ⁻³ Jhm ⁻³	
教育和訓練之曝露		
年有效劑量限度	NCRP-116劑量限度	
年有效劑量限度	1mSv	
組織器官年等值劑量限度		
眼球水晶體	15mSv	
皮膚手足	50mSv	
胚胎胎兒曝露		
月等值劑量限度	NCRP-116劑量限度	游離輻射安全標準限度
月等值劑量限度	0.5mSv	自受孕至出生限度5mSv(職業婦女)
一般人可忽略劑量		
年劑量限度	NCRP-116劑量限度	游離輻射安全標準限度
年劑量限度	0.01mSv	0.01mSv, 集體 1 人西弗

▲放射線對遺傳的影響

(國泰醫院 杜慶燾)

<前言>

輻射會傷害生殖細胞進而誘發突變 (mutation)，發生於生殖細胞的突變 (基因突變或染色體變異)，終將導致遺傳疾病發生率增高，人口品質的下降，對後代子孫造成非常不利的影響。由於遺傳效應 (hereditary effect) 的特徵會傳給後代，因此一般民眾對輻射可能引發的遺傳效應往往會特別感到不安或恐懼。

過去筆者曾多次被病人及醫療工作人員詢及相關的問題，甚至有些病人不論接受那一種放射線檢查都會擔憂放射線的遺傳效應，例如照過胸部 X 光檢查或牙科 X 光檢查的病人，也都擔心是否會發生遺傳方面的效應。為了能提供病患清楚而正確的宣導和說明，醫療工作人員應具備放射線遺傳效應的充分知識，因此筆者特別就此問題詳做分析和解釋，希冀能對讀者有所助益。

<問題>

接受多次放射線檢查所累積的照射劑量，是否會造成遺傳疾病的發生？

<回答>

放射線的遺傳效應僅發生於胎兒至生育年齡，即具有生殖能力者，其生殖腺接受到某種程度的照射劑量時才會發生。換言之，若有生殖能力者，在非生殖腺的部位接受到大量的照射，也不可能發生遺傳效應。就算接受放射線檢查使生殖腺部位受到照射，由於一般放射線檢查的劑量都不高，所以生殖腺部位接受的輻射劑量引發放射線遺傳效應的機會不大，而且醫師、放射技師在執行放射線檢查時，都會謹慎地採取最適當的防護措施，故病人大可不必擔憂。

<說明>

1. 何謂放射線之遺傳效應？

放射線對人的影響可區分為有軀體效應和遺傳效應。放射線效應發生在接受者的後代子孫上稱為遺傳效應；而發生在接受者本人的放射線效應，則稱為軀體效應如表1所示。

表1. 放射線效應之分類

放射線 效 應	軀體效應 (somatic effects)	急性效應 (acute effect)	皮膚發生紅斑 骨髓、肺、消化道傷害 白血球減少 不孕 噁心、嘔吐、腹瀉	確定效應 (deterministic effect)
		慢性效應 (chronic effect)	白內障 胎兒之影響等 白血病 癌症	
	遺傳效應 (genetic effects)	遺傳基因突變或染色體變異 所發生的各種疾病		機率效應 (stochastic effect)

以細胞的變化而言，遺傳效應乃是生殖細胞接受到某程度的照射劑量後，細胞內的遺傳基因發生突變或染色體發生變異所致。

放射線的遺傳效應，僅發生在具有生殖能力者的生殖腺，接受到某種程度的照射劑量。具有生殖能力者在生殖腺以外的其他部位接受輻射照射，或是無生殖能力者 (已過生育年齡者) 的其生殖腺部位接受到輻射照射，均不會誘發遺傳效應。

2. 以目前的科技水準及相關研究尚未發現放射線誘發人類遺傳效應的病例。

1927 年在果蠅研究中發現放射線誘發遺傳效應的首例。之後，許多學者藉由各種動、植物的實驗，投入放射線誘發遺傳效應的研究，另外亦有以人做為研究對象者，所涵蓋的研究對象參考表2。

表2. 輻射誘發遺傳效應的流行病調查中所涵蓋的研究對象

調查對象	調查項目
廣島、長崎原子彈爆炸後之後代(日本)	流產、早產、死產、畸型、嬰兒死亡、性別比、染色體變異、遺傳基因突變率(細胞、DNA)、癌病發生率、死亡率
高背景地域之子女(印度)	唐氏症(Down syndrome)、畸型、死產、性別比、嚴重精神異常
放射科醫師之後代(英國、美國)	性別比

上述以人做為研究對象的結果顯示，放射線誘發遺傳疾病的發生率，在統計上並沒有增加。因此，到目前為止，人類是否會因輻射而誘發遺傳效應尚未被確認。

3 · 遺傳效應屬於無低限值的機率效應之理由

如前所述，以人為對象所作的流行病調查結果發現，放射線之遺傳效應尚未被確認，雖然如此，在輻射安全防護的分類上，仍將輻射之遺傳效應歸併為無低限值的機率效應。這是因為以果蠅或老鼠等動物進行實驗時，放射線引起細胞突變的發生率和劑量之間，顯示無低限值的直線反應關係，而此實驗結果也已獲得學界之確認。雖然以人為對象所做的放射線遺傳效應的研究，結果尚未被確認，卻不能貿然斷言輻射對人不會造成遺傳效應。因為實驗設備的精確度不夠，或是做為研究對象的人數不足，均會影響調查結果。輻射照射是否會引發遺傳效應？由流行病調查結果來看，應該說「未知」較為妥當。

此外，人的遺傳基因構造與實驗之動物相同，所以輻射對人的遺傳效應應歸併在假定無低限值的機率效應，並為輻射可能接受者(如從業人員或一般民眾)，設定劑量限值的考量依據。若是對擔憂會發生遺傳影響的個人，臨床上採用流行病調查的結果，統計上並未發現遺傳疾病發生率的增加，此一事實可做為說明的依據。

4 · 輻射照射引起的遺傳效應

以人類作為研究對象所做的流行病調查結果，在統計上雖未顯示輻射會對人造成遺傳效應，但為了訂定輻射防護的安全標準，學者採用的論點為：隨著輻射劑量的增加，遺傳疾病的發生率也會增高。

遺傳效應乃因生殖腺細胞內的遺傳基因發生突變所引起，而遺傳基因的突變則包括下列三種型式，並導致各種遺傳疾病的發生率增加(表3)。

- (1)單一遺傳基因突變(常染色體、X染色體)所引起的疾病，其中又分為顯性和隱性。
- (2)染色體變異(構造異常、數目異常)引起的疾病。
- (3)多數遺傳基因突變及環境因素共同造成的疾病(先天異常、多因素遺傳疾病)。

遺傳基因所發生的突變，並不完全以遺傳疾病的形式出現，其原因可能與下列因素有關(1)滲透度(penetrance: 受損基因表現為疾病的程度，如顯性遺傳基因的滲透度約60-90%)；(2)致死效果(已受損或有異的基因，其生存能力(viability)較正常者弱，故在受精後細胞分化的早期，或出生後不久就有死亡的可能)；(3)表現度(疾病的嚴重性具有個體差異)；(4)出現疾病之年齡(發病年齡亦有個體差異，如隱性遺傳疾病發病年齡早，顯性遺傳疾病則較慢)。其他如疾病診斷上的難度也有關係。輻射照射的影響是使自然發生遺傳疾病的機率提高，但輻射照射所引發的遺傳疾病和自然發生的遺傳疾病完全相同，並不會引發其他新的疾病。

表3. 各種遺傳疾病及其自然發生率 (UNSCEAR 1988)

遺傳疾病的分類	自然發生率 (100萬人之中)	遺 傳 的 病 例
常染色體顯性遺傳疾病 (autosomal dominant disorders)	10,000	肌僵直性營養不良(myostonic dystrophy) 亨丁頓氏舞蹈症(Huntington,s chorea) 血色沈著病(hemochromatosis) 成人型多囊性腎病 (adult polycystic kidney disease) 骨形成不全症(osteogenesis impafecta)等
性聯失調遺傳疾病(X-linked disorders)	10,000	血友病A and B(hemophilia A and B) 色盲(color blindness) 睪丸女性化症(testicular faminization)等
常染色體隱性遺傳疾病 (autosomal recessive disorders)	2,500	耳聾(deafness) 白化症(albinism) 鎌形血球貧血症(sickle-cell anemia) 同胱氨酸尿症(homocystinuria) 囊腫性纖維化症(cystic filbrosis) 苯酮尿(phenylketonuria)等
染色體異常 (chromosome abnormlities)	400	Fanconi氏貧血
結構異常 (structural abnormalities)		唐氏症候群(Down syndrome)(蒙古白癡症)
數量的異常 (numertical abnormalities)		Turner氏症候群(Turner syndrome) Klinefelter氏症候群(Klinefelter syndrome)等
先天異常 (congenital abnormalities)	60,000	先天性心疾患(hont-oram症候群等) 先天性髖關節脫臼 兔唇或顎裂 異形指(趾)(dysmoorphic digitis) 精神分裂、癲癇等
多因素遺傳疾病 (multifactoral genetic diseases)	600,000	原發性高血壓症 先天性畸形 糖尿病 非特異性智能不足等

* 因營養不良而引起的腿部肌肉僵直(接續下期)

1. 歡迎賜稿，稿件請寄新竹郵政2-33號信箱或電傳(03)5722521輻防協會編輯組收。來稿一經刊登，略致薄酬(政令宣導文章，恕不給稿酬)。
2. 本刊因篇幅限制，新聞類每則請控制在500字以內，專題類每篇以2000字內為佳。
3. 歡迎訂閱(每年六期180元)。請洽：李孝華小姐 TEL：(03)5722224。