



## 懷孕婦女之輻射暴露

郭馨鎂<sup>1</sup> 劉晏孜<sup>2</sup> 林盈利<sup>3</sup>

### 前言

隨著醫療的進步，診斷工具日益多樣，從X光、超音波、電腦斷層、核磁共振至消化道攝影、血管攝影、核子醫學造影掃描等，都可協助臨床醫師對於疾病作出準確判斷，有些影像工具甚至可用於輔助治療，如血管栓塞術、放射線同位素治療。然而在這些工具當中，許多都潛藏著看不見的輻射暴露。

輻射暴露對於懷孕女性的危害，除了孕婦本身的細胞組織可能會死亡或癌變，也連帶影響胎兒死胎、畸胎、生長發育遲滯、細胞突變或癌變，因此臨床醫師對於懷孕女性使用影像學檢查總是戒慎小心。藉此在使用影像工具前，需考量胎兒週數、單一次檢查之輻射暴露劑量、評估使用放射性工具對病人與胎兒的益處是否大於輻射所造成的風險等。

### 輻射種類

輻射可分成兩種：第一為游離輻射(ionizing radiation)，是指波長短、頻率高、能量高，能使物質發生游離現象的射線，包含高能粒子輻射如 $\alpha$ 射線、 $\beta$ 射線、中子等，與高能電磁波輻射如 $\gamma$ 射線、X射線；第二為非游離輻射(non-ionizing radiation)，是指波長較長的電磁波，由於其能量低，因此不易使物質發生游離現象，包含太陽光、紫外線、可見光、紅外光、微波、無線電波和基地台等輻射。我們所關心對健康的影響，主要是游離輻射這一塊，當人體接受到高能游離輻射時，細胞和水分子會被游離激發，造成DNA雙鏈或單鏈的傷害，同時水分子被游離產生有害的OH自由基，這些自由基進而透過一連串化學反應造成細胞分子損傷。

### 輻射來源

依輻射的來源可分為：天然輻射、人造輻射。據行政院原子能委員會統計，台灣地區民眾每年接受天然輻射劑量約1.6毫西弗<sup>[1]</sup>。

1 彰化基督教醫院社區醫學部家庭醫學科 住院醫師

2 彰化基督教醫院社區醫學部家庭醫學科 主任

3 彰化基督教醫院社區醫學部家庭醫學科 主治醫師

關鍵詞：pregnancy, radiation, exposure

通訊作者：林盈利



天然輻射是指人類生活環境裡天然存在的輻射，如來自太陽與其他星球的宇宙輻射，以及從地表土壤、岩石、牆壁建材中含有天然放射性核種所產生的輻射(如放射性同位素鈾、鈾、氡氣)，因此地表上動植物、水源也會接受到少量的天然輻射。當我們爬山或搭乘飛機時，都會接受到比地表還高的宇宙輻射(離太陽較近)，一般來說，每升高1,500至2,000公尺，宇宙輻射的暴露會增加一倍<sup>[2]</sup>。

而人造輻射常見的有醫療輻射、含放射性物質之產品、核能發電與核爆落塵。用來做為醫療診斷與治療的工具如X光、

電腦斷層、正子攝影、癌症放射線治療等皆含有不等的人造輻射劑量(表1)。而菸品、煙霧偵測器這類產品也含有微量放射性輻射。至於核能發電每年所造成的輻射劑量比例，依據台灣行政院原子能委員會資料統計，不到0.1%<sup>[2]</sup>。

### 輻射對人體的影響

依據國際輻射防護委員會(ICRP)游離輻射防護安全標準的規定，一般人每年接受劑量限度(不含天然輻射劑量)不得超過1毫西弗(1,000微西弗)<sup>[3]</sup>。輻射劑量其常見單位可分為 1.吸收劑量(absorbed dose)：每單位質量物體平均吸收的輻射能量“戈雷Gray(Gy)”；2.等效劑量(dose equivalent)：人體組織的吸收劑量和射質因數的乘積“西弗(Sv)”。(註：不同輻射對人體組織會造成不同程度的傷害，因此針對不同種類輻射訂出射質因數Q， $Sv = Gy \times Q$ )

高能量的游離輻射對人體有害，輻射傷害對人體健康造成的危害可導致以下兩種輻射效應：

#### 1. 確定效應(deterministic effect)：

當人體在短時間內接受高劑量輻射時，身體許多細胞會死亡甚至無法修復，而有噁心、嘔吐、疲倦、落髮、皮膚紅斑、抵抗力下降等臨床症狀，其嚴重程度與發生率隨輻射劑量增加而上升，例如核災發生時所接受的強烈輻射源。

表1 常見醫療檢查輻射劑量

| 一般醫療檢查項目    | 民眾所接受的有效劑量(mSv)(毫西弗) |
|-------------|----------------------|
| 牙科單齒X光檢查    | 0.005mSv             |
| 胸部X光檢查      | 0.02mSv              |
| 乳房攝影檢查      | 0.7mSv               |
| 排尿中膀胱尿道攝影檢查 | 0.8mSv               |
| 腰椎X光檢查      | 1.5mSv               |
| 靜脈注射尿路攝影檢查  | 1.6mSv               |
| 頭部電腦斷層      | 2mSv                 |
| 骨頭掃描        | 4.4mSv               |
| 胸腹部電腦斷層     | 7mSv                 |
| 正子斷層掃描(PET) | 7mSv                 |
| 腸胃道鋇劑攝影     | 8mSv                 |
| 心臟冠狀動脈電腦斷層  | 16mSv                |
| 癌症放射性治療     | 20-100Sv             |

資料來源：參考資料1



## 2. 機率效應(stochastic effect)：

人體接受游離輻射不論劑量多寡，都有可能引發癌症和增加不良遺傳的機率，其嚴重程度與劑量無關，發生率則隨劑量增加而上升，無閾值。

## 3. 介於兩者之間者，如生長發育：

輻射對人體的影響若是發生在受照射者身上，稱作軀體效應(somatic effect)；若輻射的影響發生在受照射者的後代子孫身上，則稱遺傳效應(genetic effect)。而從發生效應的快慢，亦可再細分為急性效應與慢性效應(表2)。

輻射靈敏度(radiosensitivity)是指游離輻射對於人體器官、組織與細胞的敏感

性，取決於：細胞增生速度、型態及功能性器官分化程度<sup>[4]</sup> (表3)。造血幹細胞、消化道腺體、性腺、淋巴組織、生長板等細胞分裂比例高、型態與功能尚未分化的器官組織越易受游離輻射的影響產生突變甚至凋亡，而輻射對人體之毒性作用也取決於輻射劑量與輻射的種類。

### 游離輻射對孕婦的風險


孕婦的輻射相關風險和非懷孕婦女類似，然而懷孕及哺乳婦女之乳房組織在懷孕期間會歷經組織細胞的增生改變，而這些增生快速的細胞組織對輻射的敏感性增加，因此有理論指出在懷孕或哺乳期間暴露胸部的游離輻射，可能會導致未來一

表2 輻射效應與臨床症狀

| 軀體效應 | 急性效應 | 噁心、嘔吐、疲倦、落髮、皮膚紅斑、白血球減少 | 確定效應 |
|------|------|------------------------|------|
|      | 慢性效應 | 白內障、胎兒影響               |      |
| 遺傳效應 |      | 白血症、癌症                 | 機率效應 |
|      |      | 基因遺傳突變、染色體變異           |      |

資料來源：參考資料2

表3 人體器官或組織對於輻射傷害之敏感性

| 輻射敏感性<br>(radiosensitivity)  | 器官或組織<br>(organ or tissue) |
|--|----------------------------|
| 高敏感性<br>(細胞活躍分裂)<br><br><br><br>低敏感性<br>(細胞無活躍分裂) | 造血系統 骨髓、淋巴器官(胸腺、脾臟、淋巴結)    |
|  | 胚胎、生殖系統(睪丸及卵巢)             |
|  | 腸胃道系統(黏膜及小腸絨毛)             |
|  | 表皮、眼睛 毛囊、汗腺、皮膚、水晶體         |
|  | 甲狀腺、肺、肝臟、腎臟                |
|  | 血管、肌肉、骨頭                   |
|  | 神經                         |

資料來源：參考資料2, 4



生中乳癌風險的些微增加，但這個理論目前尚未被證實<sup>[5]</sup>。

## 游離輻射對胎兒的風險

游離輻射對胎兒的風險大多從個案報告、過去日本廣島與長崎原子彈爆炸事件或是車諾比核電事故生還者做資料的蒐集與統計，而游離輻射對胎兒潛在有害的影響主要有四個：流產或死胎、畸胎、生長或發育遲滯、細胞突變或癌變<sup>[6,7]</sup>。

### 1. 輻射劑量對胎兒的影響：

- a. 小於0.05 Gy(50 mGy)：研究報告顯示單一次輻射劑量低於0.05 Gy不會增加流產、胎兒異常、智能障礙、生長遲滯<sup>[8,9]</sup>。
- b. 大於0.1 Gy(100 mGy)：確定效應的風險是否增加尚未有定論，但研究報告顯示當輻射劑量超過0.1 Gy，尤其是超過0.15至0.20 Gy以上，流產、胎

兒異常、智能障礙、生長遲滯等風險隨之上升<sup>[9]</sup>。表4是常見醫療檢查與胎兒輻射吸收劑量。

### 2. 妊娠週數與輻射暴露對胎兒的影響：

- a. 妊娠2週內：在胚胎著床前或器官發育之前，胚胎較不會受游離輻射的傷害，但若接受高劑量輻射仍可能造成胚胎死亡，這屬全或無傷害現象。
- b. 妊娠2-8週：這時期為器官發育期，會因輻射暴露導致先天性胎兒畸型，尤其是中樞神經系統(小腦症<sup>[10]</sup>、眼睛缺損)、生長遲滯、智能發展遲緩，很少導致死亡。
- c. 妊娠8-25週：在此階段游離輻射可能會對胎兒造成致畸影響(radiation teratogenic effect)<sup>[11]</sup>與智能發展遲緩<sup>[12]</sup>。在原子彈爆炸事件生還者中，發現在妊娠8週前或25週後暴露輻射的胎兒沒有嚴重的智能缺損，且25週後的胎兒對於輻射也較無致畸影響<sup>[13]</sup>。

表4 常見醫療檢查與胎兒輻射吸收劑量

| 醫療檢查   | 胎兒輻射吸收劑量(mGy) | 醫療檢查           | 胎兒輻射吸收劑量(mGy) |
|--------|---------------|----------------|---------------|
| 頸部X光   | <0.001        | 鋇劑攝影           | 1-20          |
| 四肢X光   | <0.001        | 頭頸部電腦斷層        | 1-10          |
| 乳房攝影   | 0.001-0.01    | 胸部電腦斷層/肺動脈血管攝影 | 0.01-0.66     |
| 胸部X光   | 0.0005-0.01   | 腹部電腦斷層         | 1.3-35        |
| 腰椎X光   | 1-10          | 骨盆腔電腦斷層        | 10-50         |
| 靜脈腎盂造影 | 5-10          | 全身骨掃描          | 10-50         |

資料來源：Tremblay E, Therasse E, Thomassin-Naggara I, et al: Quality initiatives: guidelines for use of medical imaging during pregnancy and lactation. Radiographics 2012; 32: 897.



### 3. 輻射對胎兒未來的性成熟度與生殖功能影響：

Robert 等、Jablon等對原子彈爆炸事件中接受到輻射暴露的母體內胎兒與幼齡兒童做長達60年的世代追蹤<sup>[14-16]</sup>，研究中並無提及輻射對胎兒或幼童未來之性成熟度與生殖功能的影響，然而在致癌風險方面，胎兒與兒童早期的輻射暴露，有顯著與劑量呈正相關的白血病及實質癌症發生率(如肺癌、生殖器官癌、消化器官癌)，不過暴露劑量低於0.02 Gy，其實質癌症致癌風險無增加<sup>[17]</sup>。而新生兒暴露於0.01至0.02 Gy的輻射劑量，研究指出未來兒童期罹患白血病的風險可能會增加<sup>[18]</sup>。

目前無法確定輻射是否會影響胎兒未來的性成熟度與生育能力，有文章討論癌症兒童接受化學治療與放射治療對性腺功能與生育能力的影響<sup>[19-29]</sup>，Zoltan等提

到，在放射治療過程若睪丸輻射劑量超過4 Gy、卵巢/子宮超過5 Gy、下視丘-腦下垂體超過22-30 Gy、全身性放射線照射劑量超過10 Gy，都可能造成下視丘-腦下垂體-性腺功能受損而導致性腺功能低下、不孕風險增加。Skinner等指出，睪丸暴露超過12 Gy、全身性放射線照射超過7.5-15 Gy會增加睪固酮低下機率。Levine等則提到，成人於腹骨盆腔放射劑量超過6 Gy、女孩於青春前期暴露超過15 Gy、少女於青春後期暴露超過10 Gy有很高的風險會產生不孕。

### 懷孕期間診斷性影像學檢查

根據2017年10月美國婦產科醫學會對懷孕及哺乳期婦女的診斷性影像學檢查指引<sup>[30]</sup>，超音波及核磁共振屬非游離輻

表5 妊娠週數與輻射閾值劑量對胎兒的影響

| 妊娠週數(Gestational period)     | 影響                                     | 預估閾值劑量(Estimated threshold dose) |
|------------------------------|--|----------------------------------|
| 胚胎著床前(受精後0-2週)               | 胚胎死亡或存活，全或無定律(all or none)             | 50-100mGy                        |
| 器官發育期(organogenesis)<br>2-8週 | 先天性畸形(骨骼、眼睛、生殖器)                       | 200mGy                           |
|                              | 生長遲滯                                   | 200-250mGy                       |
| 8-15週                        | 嚴重智能障礙(severe intellectual disability) | 60-310mGy                        |
|                              | 智能缺損(intellectual deficit)             | 25 IQ-point loss/1000mGy         |
|                              | 小頭症(microcephaly)                      | 200mGy                           |
| 16-25週                       | 嚴重智能障礙(severe intellectual disability) | 250-280mGy                       |

資料來源：Imaging the pregnant patient for nonobstetric conditions: algorithms and radiation dose considerations. Radiographics 2007; 27: 1705-22.





射，較無輻射風險，為孕婦較佳的檢查工具選擇。然而若游離輻射檢查不可避免時，妊娠8-15週為胎兒中樞神經發育時期，為了減少智能障礙風險，應限制輻射劑量至60-310 mGy以下；而為了減少胎兒畸型、生長遲滯等風險，妊娠8-25週應限制輻射劑量至50 mGy以下。(表5為妊娠週數與輻射閾值劑量對胎兒的影響)。下列為常見影像檢查及建議：

### 1. 超音波(ultrasonography)：

目前為止，沒有因使用超音波而對發育中的胚胎及胎兒產生不良影響的報告，且超音波為產前檢查最常使用的工具，用來評估胎兒生長發育情形，若於產檢期間發現胎兒異常，可搭配檢驗、絨毛膜取樣、羊膜穿刺或進一步排胎兒核磁共振做詳細的篩檢。

### 2. 核磁共振(magnetic resonance imaging)：

與超音波一樣無游離輻射的暴露風險，軟組織解析度高。

### 3. 一般X光片(plain radiography)：

無論胎兒週數大小，當照射非腹骨盆腔部位時，孕婦可穿防護圍裙(lead apron)降低輻射散射至胎兒。當需照射腹骨盆腔X光片時，跟由前往後照(A-P view)相比，由後往前照射(P-A view)可降低胎兒輻射暴露劑量約0.02至0.04 mGy。

### 4. 螢光透視檢查(fluroscopy)及血管攝影檢查(angiography)：

依據臨床狀況調整輻射暴露時間、光束大小，影像照射範圍儘量避開骨盆腔以降低胎兒輻射暴露劑量。

### 5. 核子醫學檢查(nuclear medicine)：

檢查時放射性同位素的部分可選擇銻(technetium, Tc-99m)而儘量避免使用碘(iodine, I-131)，且劑量應限制在5mGy以下。孕婦增加飲水及排尿次數也可降低放射性同位素留在體內的時間、減少胎兒輻射暴露。

### 6. 電腦斷層(computed tomography)：

調整切面數量、每一切的厚度、照射部位避開骨盆腔可降低胎兒的輻射暴露劑量。

## 如何降低懷孕期間的輻射暴露

輻射暴露可分為體內與體外暴露。天然與人造輻射多為體外輻射，以下三個基本原則可降低體外輻射暴露：減少輻射暴露的時間、拉長與輻射源的距離、使用屏蔽<sup>[31]</sup>。輻射的強度與距離平方成反比，因此若增加兩倍與輻射源的距離，輻射強度即可減弱至1/4倍。至於屏蔽設備如鉛板、鋼板或水泥牆皆可降低輻射的強度。放射性物質也可透過呼吸、食入輻射食品等方式進入人體內，因此避免食入輻射食



品、加強排泄、除汙也是降低體內輻射的防護好方法。

## 結語

輻射無所不在，對於懷孕期間孕婦及胎兒的輻射風險，我們能做的即是減少暴露、做好屏蔽、加強除汙，然而若醫療輻射不可避免時，衡量單一次檢查暴露劑量、胎兒當時週數、做檢查之風險評估並與醫師做討論，也透過產前的規則產檢，將併發症與風險降至最低。

## 參考資料

1. 行政院原子能委員會一般游離輻射劑量圖。2019年5月23日，取自<https://www.aec.gov.tw/webpage/service/other/images/20100422-1.jpg>。
2. 行政院原子能委員會輻射與健康出版品(93年7月第6版)。2019年5月23日，取自[https://www.aec.gov.tw/webpage/service/other/files/book\\_10.pdf](https://www.aec.gov.tw/webpage/service/other/files/book_10.pdf)。
3. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. Washington, DC: National Academy of Sciences., 2006.
4. Ministry of Environment, Government of Japan: Booklet to Provide Basic Information Regarding Health Effects of Radiation(1st edition): Radiosensitivity of Organs and Tissues. <https://www.env.go.jp/en/chemi/rhm/basic-info/1st/03-02-07.html>. Accessed July 14, 2019.
5. Burton KR, Park AL, Fralick M, et al: Risk of early-onset breast cancer among women exposed to thoracic computed tomography in pregnancy or early postpartum. *J Thromb Haemost* 2018; 16: 876-85.
6. Yamazaki JN, Schull WJ: Perinatal loss and neurological abnormalities among children of the atomic bomb. Nagasaki and Hiroshima revisited, 1949 to 1989. *JAMA* 1990; 264: 605-9.
7. Brent RL: Saving lives and changing family histories: appropriate counseling of pregnant women and men and women of reproductive age, concerning the risk of diagnostic radiation exposures during and before pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 2009; 200: 4-24.
8. Brent RL: The effect of embryonic and fetal exposure to x-ray, microwaves, and ultrasound: counseling the pregnant and nonpregnant patient about these risks. *Semin Oncol* 1989; 16: 347-68.
9. Centers for Disease Control and Prevention. <https://emergency.cdc.gov/radiation/prenatalphysician.asp>. Accessed May 23, 2019.
10. Mettler FA, Upton AC: Medical Effects of Ionizing Radiation. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders, 1995.
11. De Santis M, Di Gianantonio E, Straface G, et al: Ionizing radiations in pregnancy and teratogenesis: a review of literature. *Reprod Toxicol* 2005; 20: 323-9.
12. Hall EJ: Scientific view of low-level radiation risks. *Radiographics* 1991; 11: 509-18.
13. Otake M, Schull WJ, Yoshimaru H: A review of forty-five years study of Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors. Brain damage among the prenatally exposed. *J Radiat Res* 1991; 32: 249-64.
14. Delongchamp RR, Mabuchi K, Yoshimoto Y, et al: Cancer mortality among atomic bomb survivors exposed in utero or as young children, October 1950-May 1992. *Radiat Res* 1997; 147: 385-95.
15. Jablon S, Kato H: Childhood cancer in relation to prenatal exposure to atomic-bomb radiation. *Lancet* 1970; 2: 1000-3.
16. Douple EB, Mabuchi K, Culling HM, et al: Long-term radiation-related health effects in a unique human population: lessons learned from the atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki. *Disaster Med Public Health Prep* 2011; 1: S122-33.



17. Preston DL, Cullings H, Suyama A, et al: Solid cancer incidence in atomic bomb survivors exposed in utero or as young children. *J Natl Cancer Inst* 2008; 100: 428-36.
18. ACR practice guideline for imaging pregnant or potentially pregnant adolescents and women with ionizing radiation (2008).
19. Antal Z, Sklar CA: Gonadal Function and Fertility Among Survivors of Childhood Cancer. *Endocrinol Metab Clin North Am* 2015; 44: 739-49.
20. Skinner R, Mulder RL, Kremer LC, et al: Recommendations for gonadotoxicity surveillance in male childhood, adolescent, and young adult cancer survivors: a report from the International Late Effects of Childhood Cancer Guideline Harmonization Group in collaboration with the PanCareSurFup Consortium. *Lancet Oncol* 2017; 18: e75-90.
21. Green DM, Nolan VG, Kawashima T, et al: Decreased fertility among female childhood cancer survivors who received 22-27 Gy hypothalamic/pituitary irradiation: a report from the Childhood Cancer Survivor Study. *Fertil Steril* 2011; 95:1922-7.
22. Levine JM, Kelvin JF, Quinn GP, et al: Infertility in reproductive age female cancer survivors. *Cancer* 2015; 121:1532-9.
23. Loren AW, Mangu PB, Beck LN, et al: Fertility preservation for patients with cancer: American Society of Clinical Oncology clinical practice guideline update. *J Clin Oncol* 2013; 31: 2500-10.
24. Terenziani M, Piva L, Meazza C, et al: Oophoropexy: a relevant role in preservation of ovarian function after pelvic irradiation. *Fertil Steril* 2009; 91: 935 e15-6.
25. Sudour H, Chastagner P, Claude L, et al: Fertility and pregnancy outcome after abdominal Irradiation that included or excluded the pelvis in childhood tumor survivors. *Int J Radiat Oncol BiolPhys* 2010; 76:867-73.
26. Teh WT, Stern C, Chander S, et al: The Impact of Uterine Radiation on Subsequent Fertility and Pregnancy Outcomes. *Biomed Res Int* 2014; 2014: 482968.
27. Roeca C, Dovey S, Polotsky AJ: Recommendations for assessing ovarian health and fertility potential in survivors of childhood cancer. *Maturitas* 2019; 122:57-9.
28. Marci R, Mallozzi M, Benedetto LD, et al: Radiations and female fertility. *Reprod Biol Endocrinol* 2018; 16:112.
29. Wallace WH, Thomson AB, Kelsey TW: The radiosensitivity of the human oocyte. *Hum Reprod* 2003; 18: 117-21.
30. Committee on Obstetric Practice: Committee Opinion No. 723 Guidelines for Diagnostic Imaging During Pregnancy and Lactation. *Obstet Gynecol* 2017; 130: e210-6.
31. Miller DL, Vañó E, Bartal G: Occupational Radiation Protection in Interventional Radiology: A Joint Guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2010; 33: 230-9.