

輻射生物效應與醫療輻射防護

(8月19日上午3小時課程)

林招膨 博士
國立清華大學
原子科學所

大綱

游離輻射生物效應

-輻射生物效應分類

-輻射敏感性

-急性輻射症候群

 胎兒的輻射風險

-懷孕輻射照射與胎兒劑量

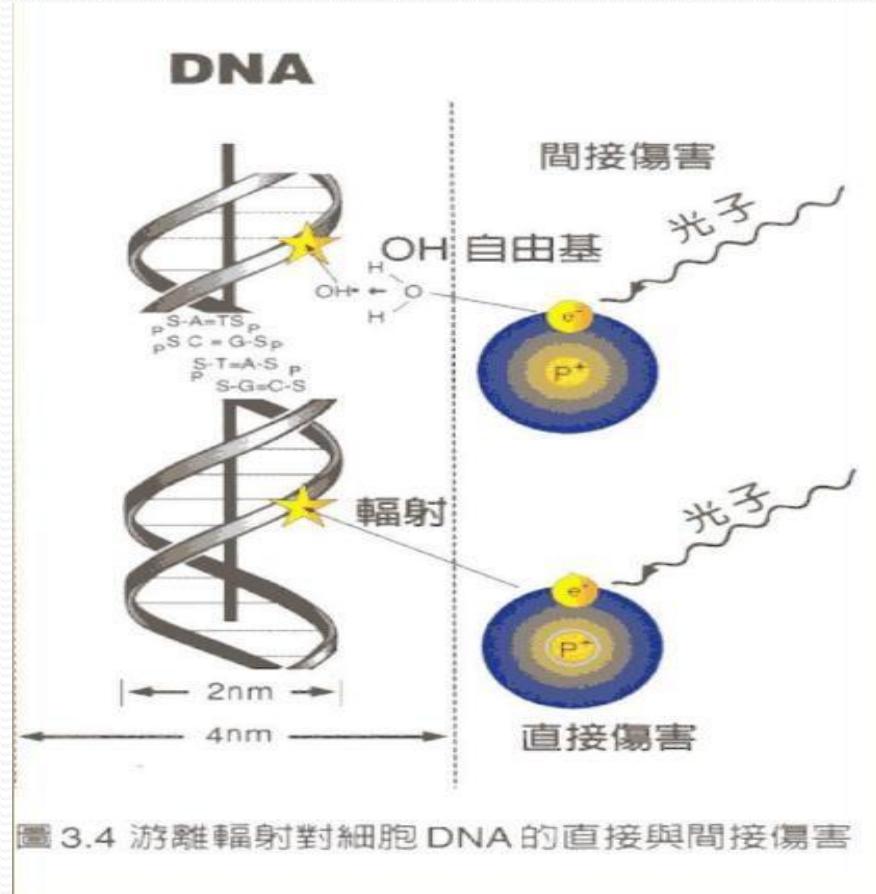
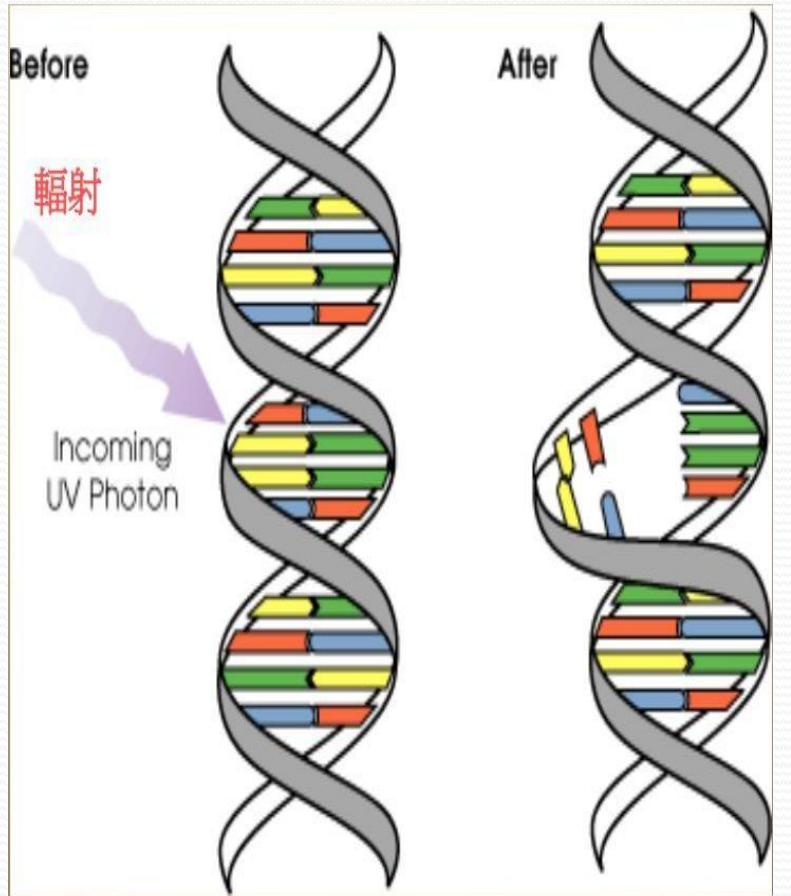
 放射診斷科輻射儀器之使用與輻射劑量

-放射診斷的輻射量與防護

 輻射防護

-輻射防護之目的及基本原則

輻射生物效應



輻射生物效應分類

軀體效應	急性效應	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
	慢性效應	白內障 胎兒之影響等	確定效應
		白血病 癌症	
遺傳效應		遺傳基因突變或染色體 變異所發生的各種疾病	機率效應

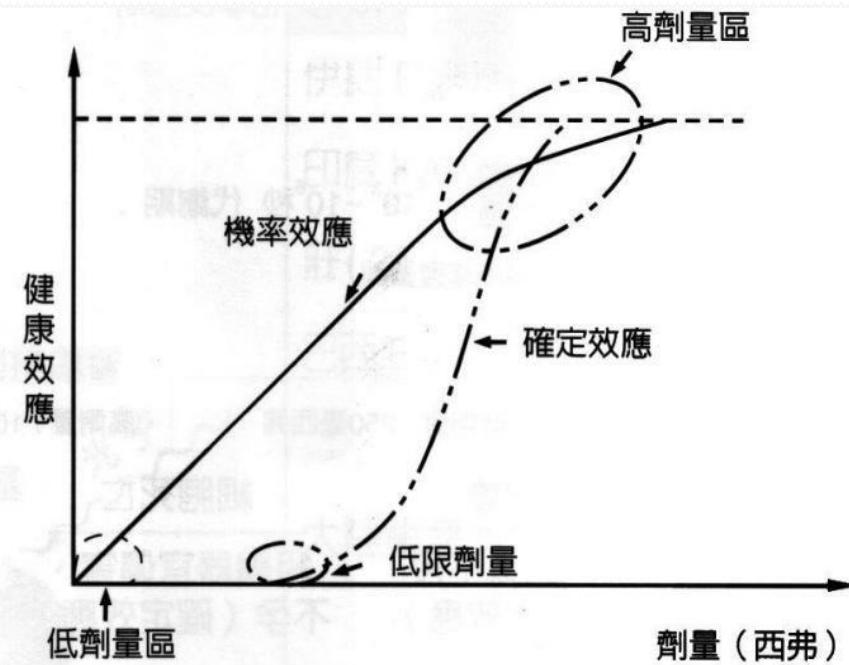
游離輻射的生物效應

確定效應

白內障、皮膚傷害、不孕、脫毛……等

機率效應

癌症、遺傳效應



確定效應

確定效應(閥值/非機率)

- 存在劑量閥值(低於此 劑量效應不會發生)
- 效應嚴重程度與隨著劑 量增加而增加
- 很多細胞參與其中

工業射源造成的輻射傷害



確定效應的劑量閥值

白內障2-10 Gy

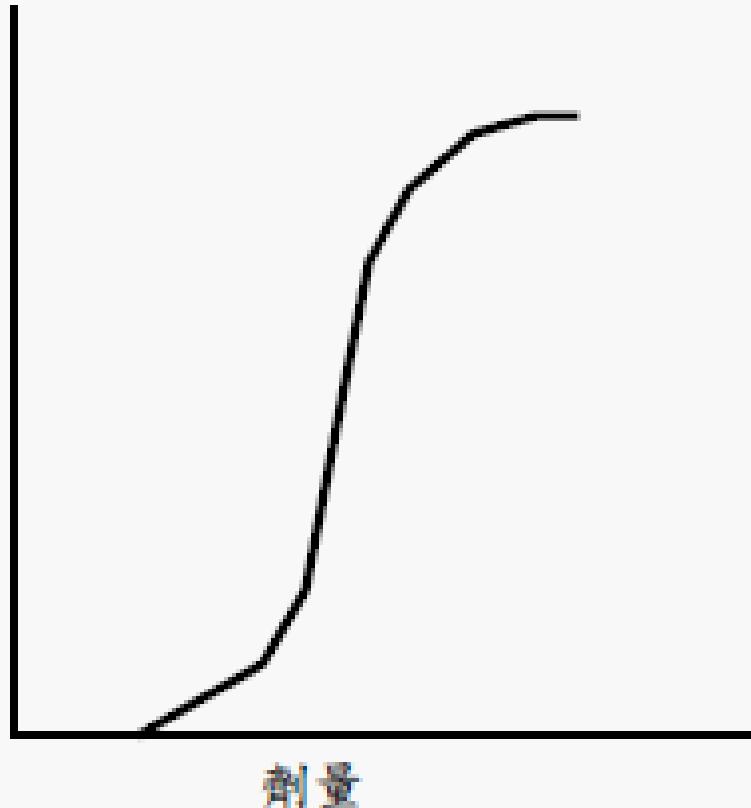
永久不孕

- 男性 3.5-6 Gy
- 女性 2.5-6 Gy

暫時性不孕

- 男性 0.15 Gy
- 女性 0.6 Gy

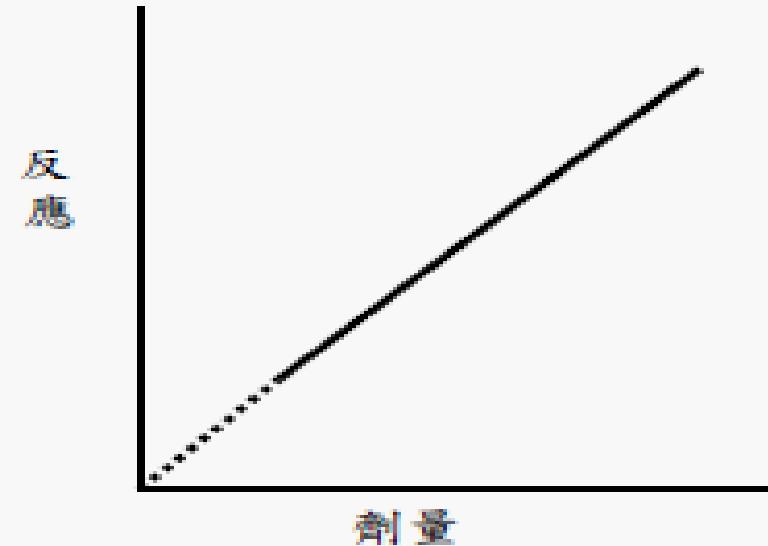
反應



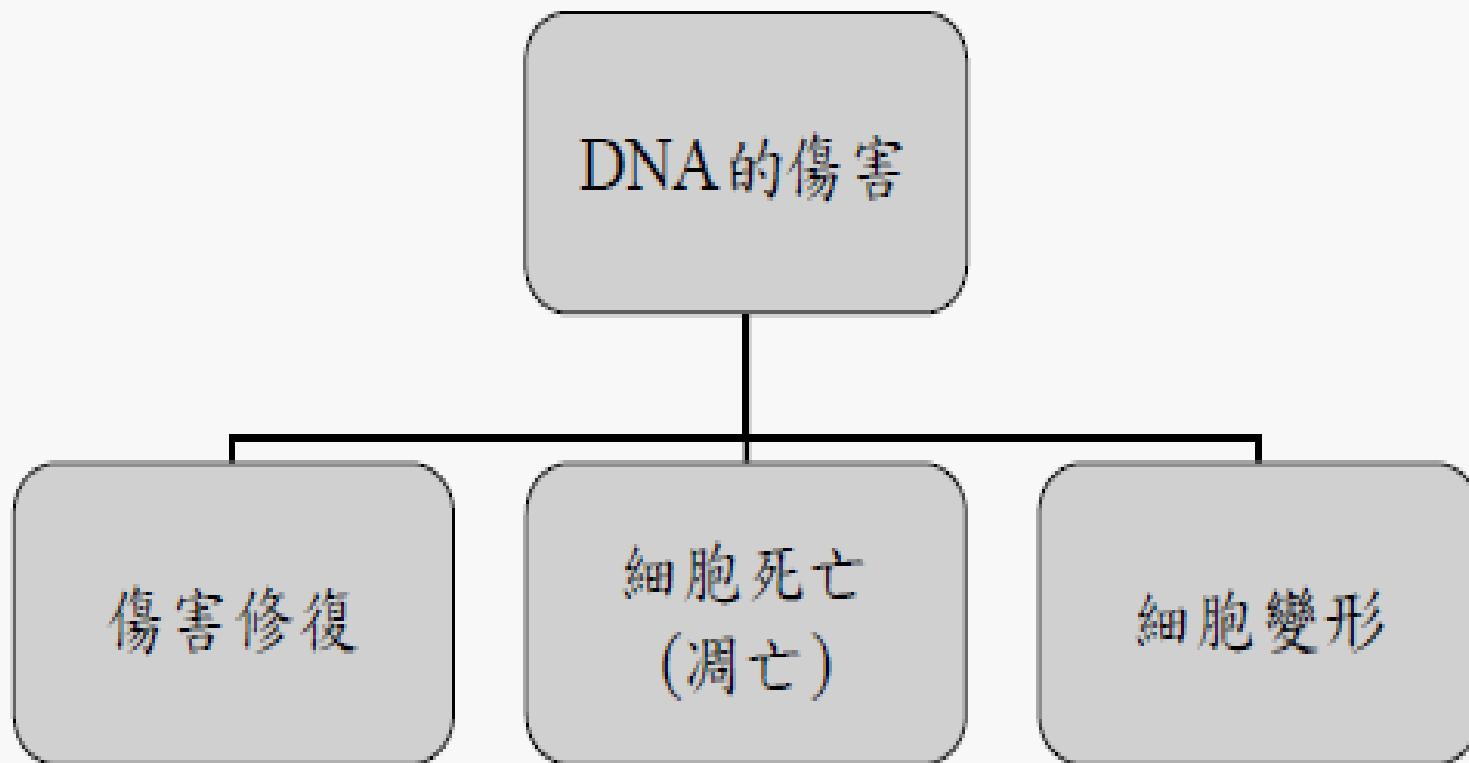
機率效應

機率效應（無閥值）

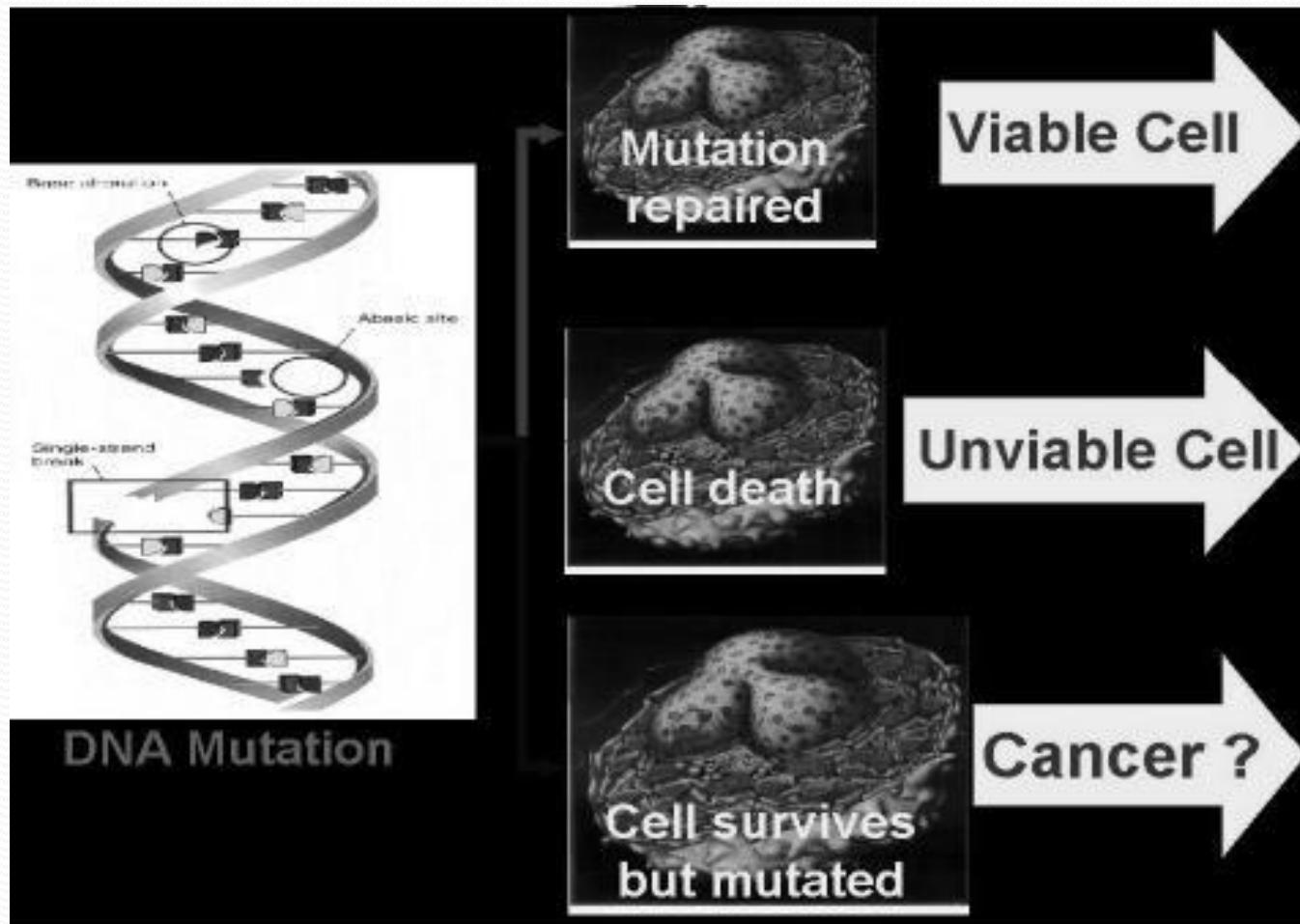
- 沒有閥劑量
- 發生機率隨曝露的劑量增加而增加
- 一般發生於單一細胞
- 例如:癌症、遺傳效應



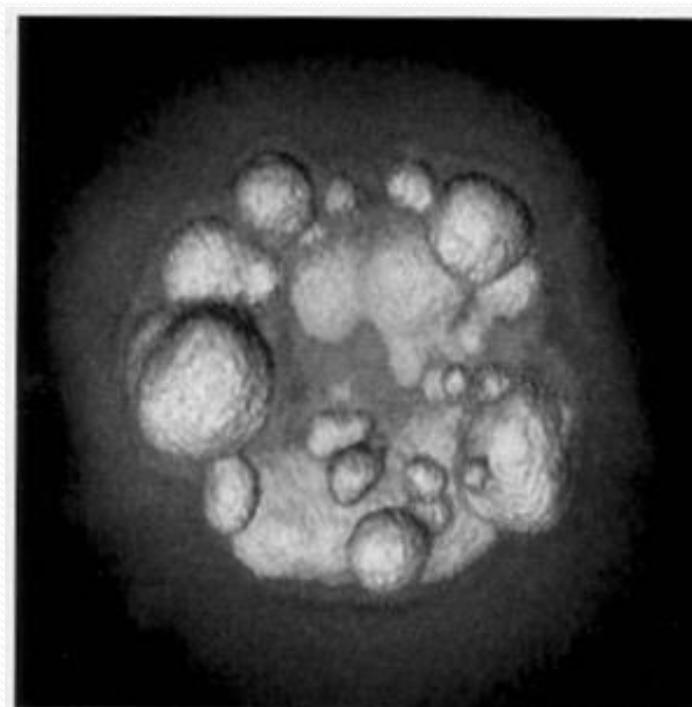
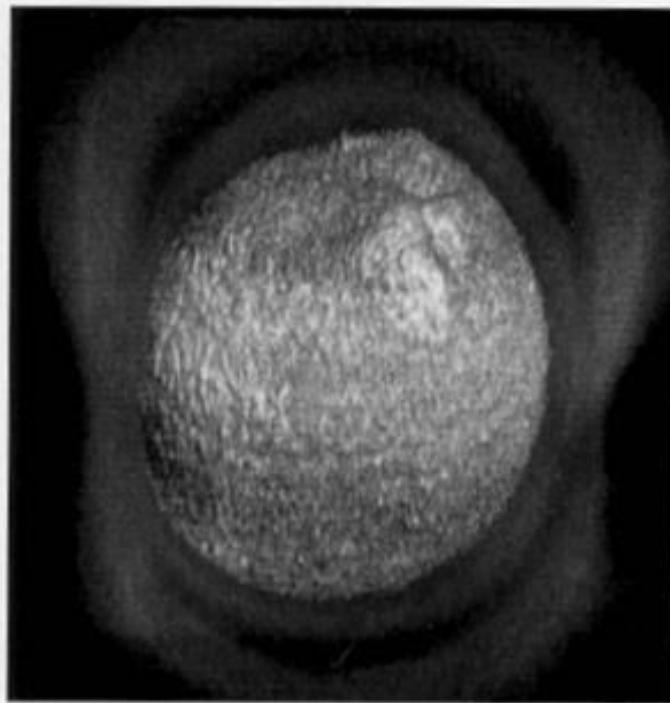
細胞照射的結果



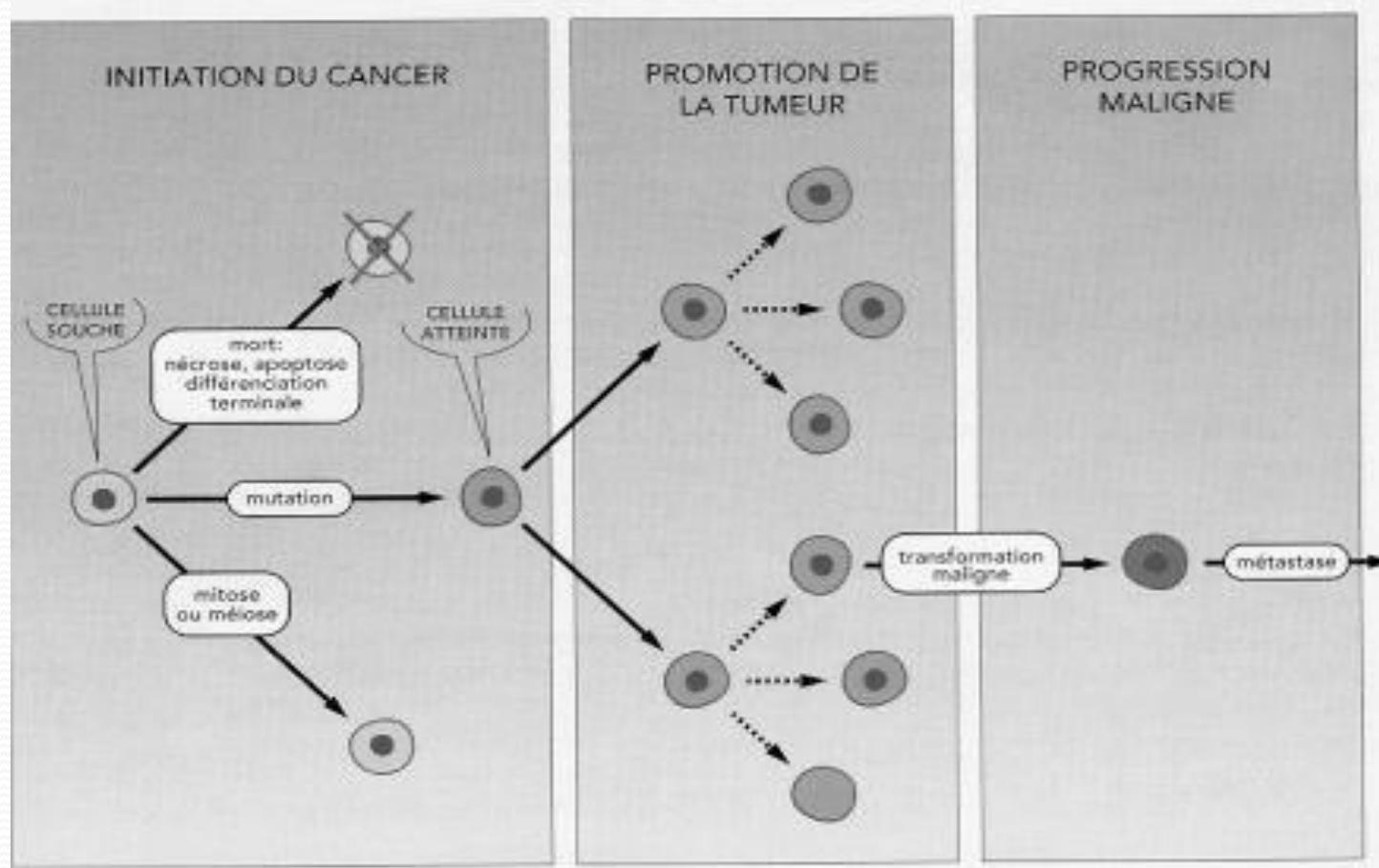
DNA Mutation



照射後之淋巴球

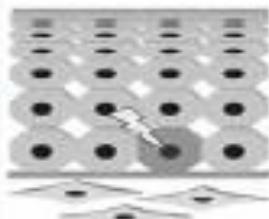


癌症之起始

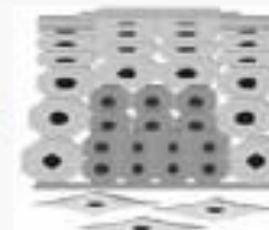


DNA 損傷藥劑

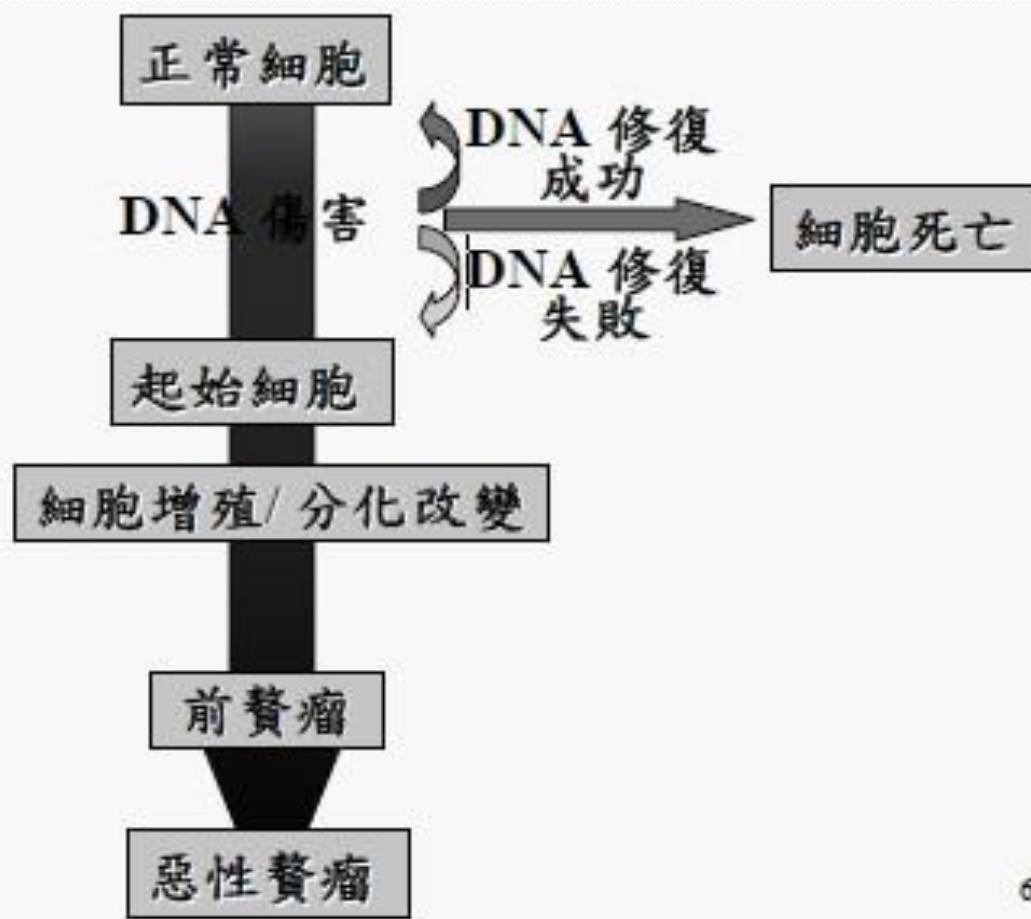
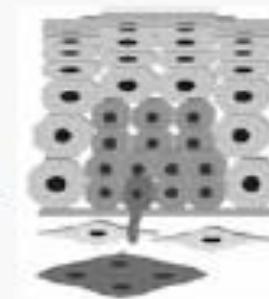
起始



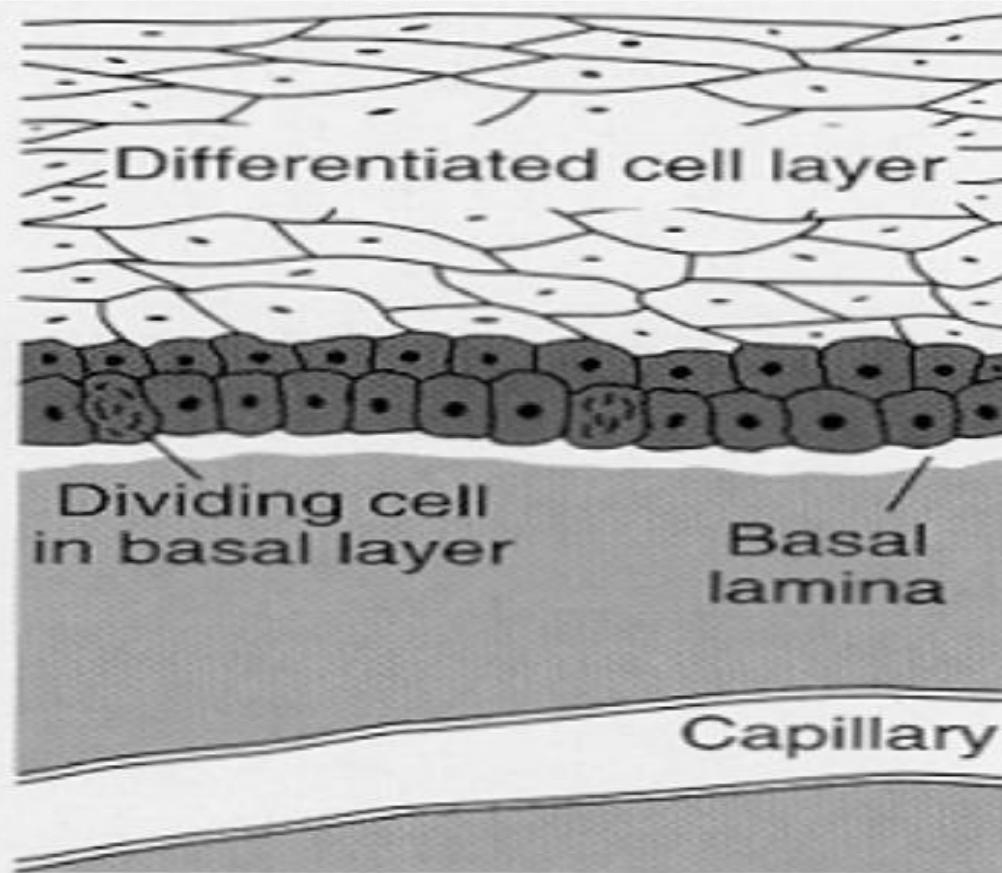
促進



進展

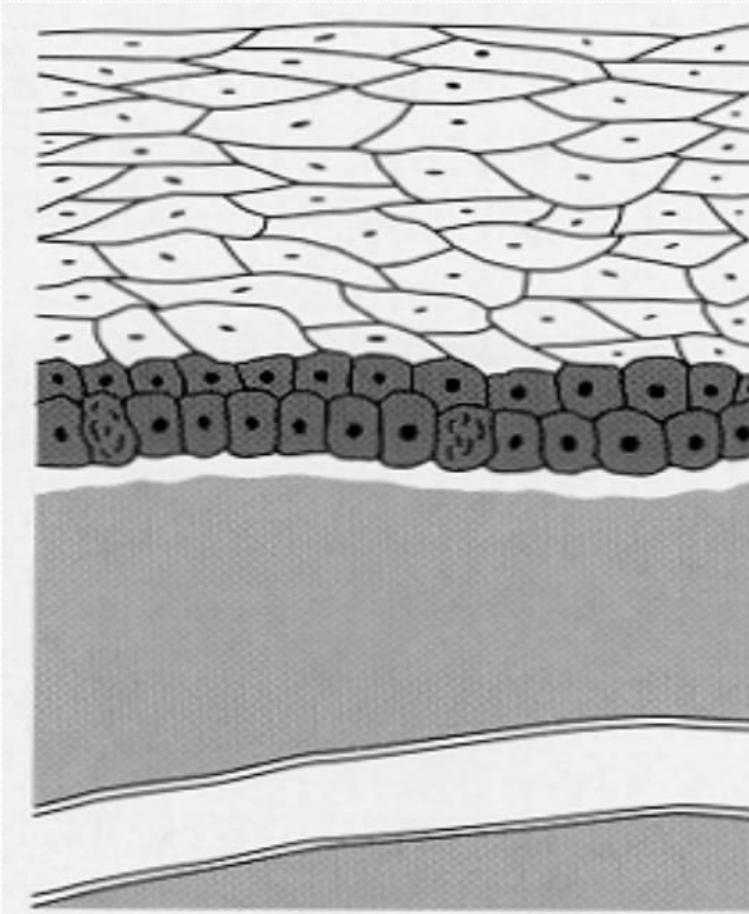


正常組織



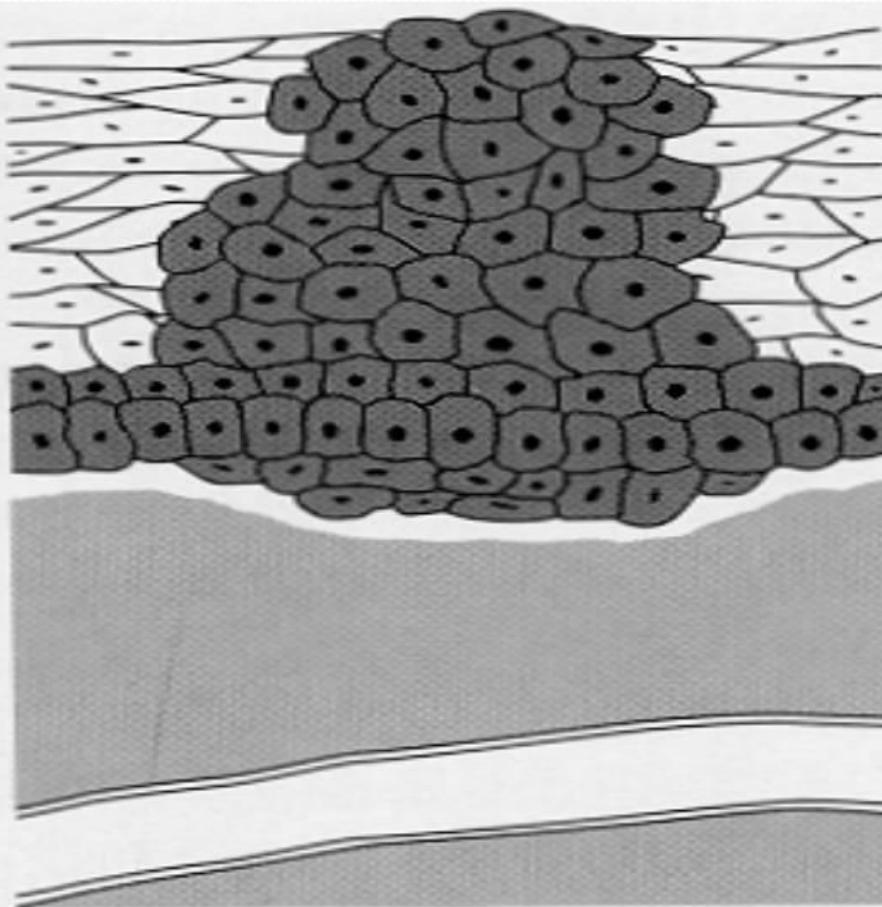
起使

起始
其中一個基底細胞產生突變



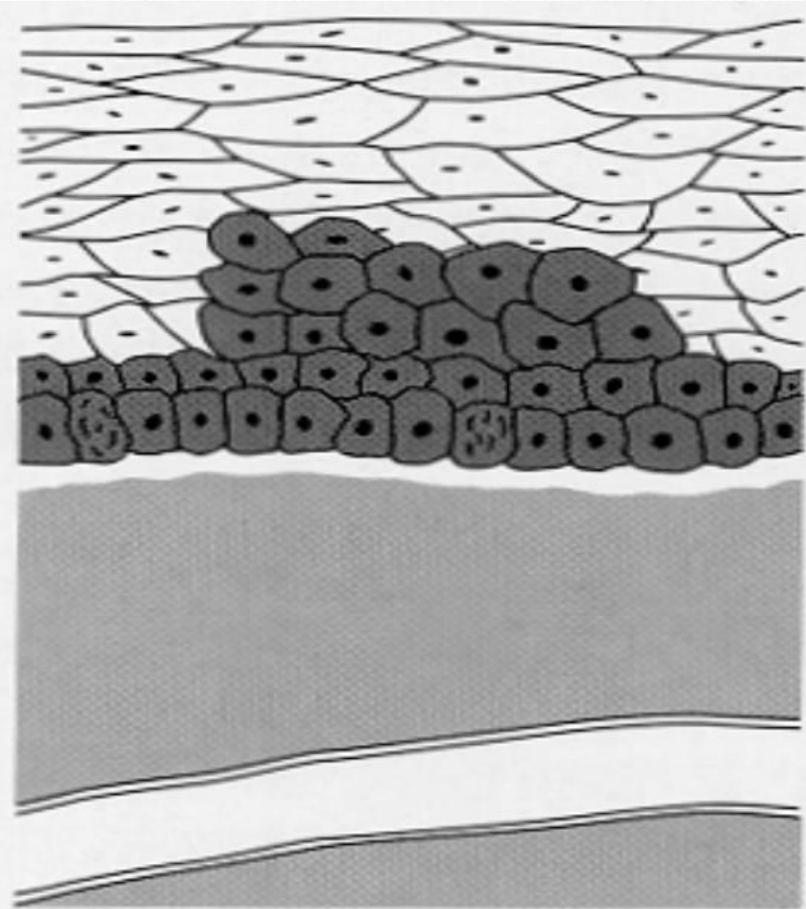
良性腫瘤

良性腫瘤
增殖的細胞發生更多的
改變 使之發展變為腫
瘤



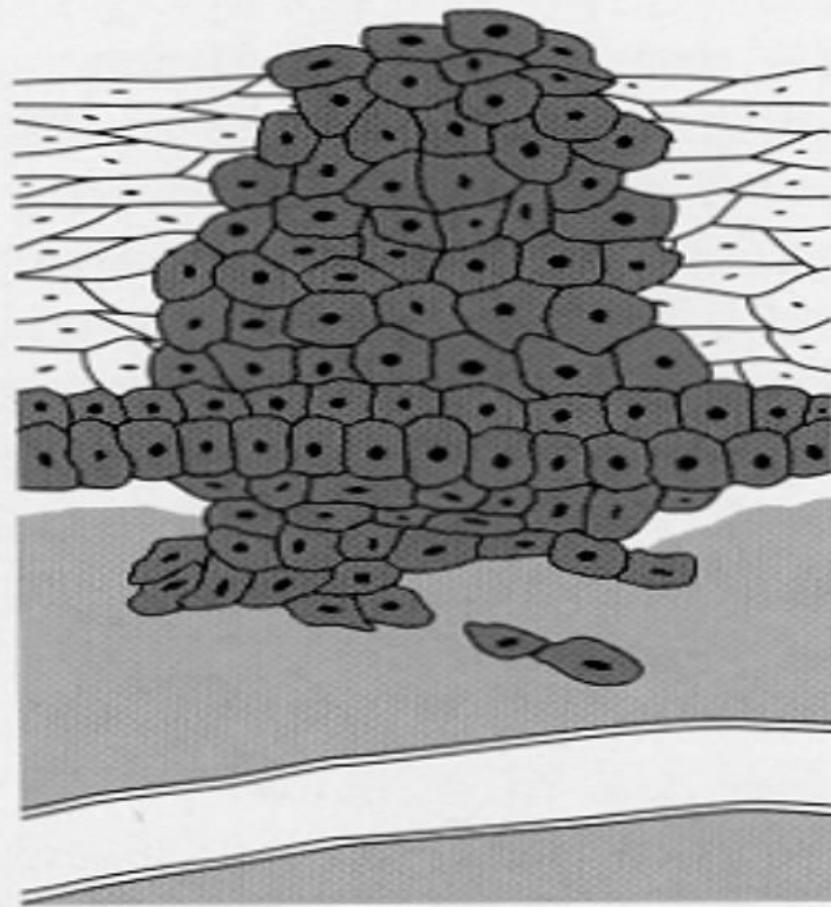
發育異常

發育異常
更多突變發生 起始細胞
過度增殖 快速分裂的細
胞堆積在皮下



惡性腫瘤

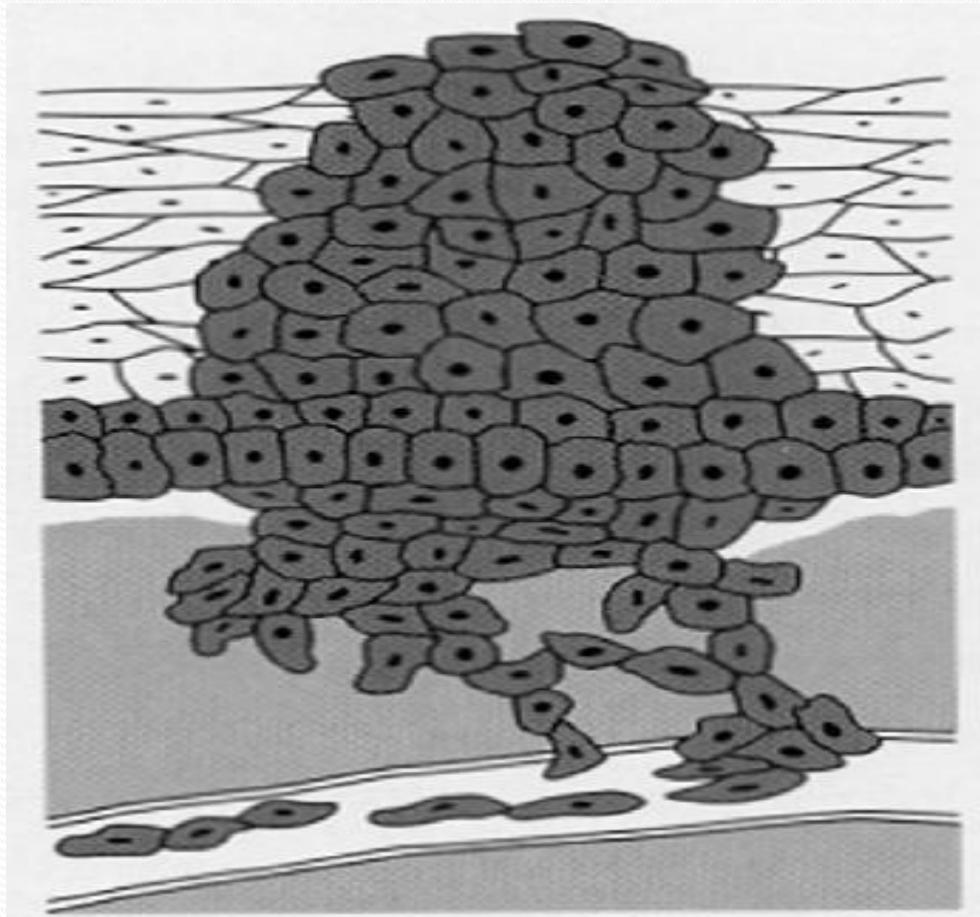
惡性腫瘤
腫瘤細胞會穿透基底層
增加
其移動性往其他地方侵犯



轉移

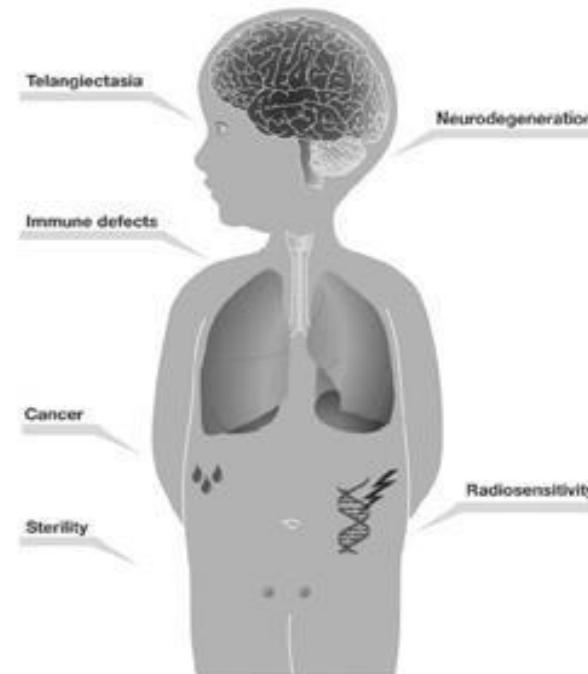
轉移

癌細胞穿過淋巴管壁或微血
管壁 蔓延到身體其他部
位



輻射敏感性

- 輻射敏感度:單位劑量之下細胞、組織或器官可能受到的影響
- Bergonie and Tribondeau(1906): “敏感度定律” 下列細胞輻射敏感度高
- 高度分裂
- 未分化
- 具有長分裂能力



高輻射敏感	中等輻射敏感	低輻射敏感
骨髓	皮膚	肌肉
脾臟	中胚層器官（ 肝、心、肺...）	骨骼
胸腺		神經系統
淋巴結		
性腺		
眼球		
淋巴細胞		

系統效應

因素:

- 器官
- 齣量
- 效應
- 立刻(通常可回復): < 6 個月, 例如: 發炎, 出血.
- 延遲(通常不可回復): > 6 個月, 例如: 萎縮, 硬化, 纖維化.

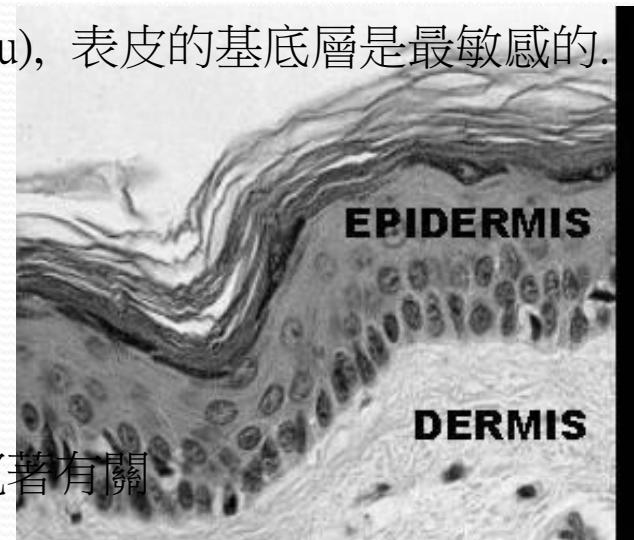
劑量分類

- 低劑量: < 1 Gy
- 中度劑量: 1-10 Gy
- 高劑量: > 10 Gy

皮膚的影響

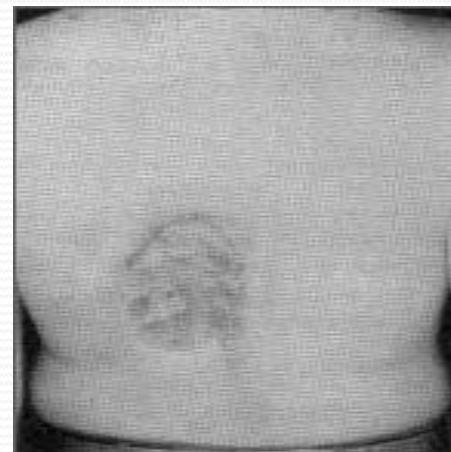
- 依“輻射敏感度”定律 (Bergonie and Tribondeau), 表皮的基底層是最敏感的.
- 效應:
- 紅斑: 照射3-5 Gy 1-24 h
- 脫毛: 5 Gy(可回復); 20 Gy(不可回復)
- 色素沉著: 可回復, 照射後8 天出現 irradiation.
- 乾性或濕性脫皮
- 延遲效應: 微血管擴張症, 纖維化

基底層細胞,高度分裂,有些具有黑色素,與色素沉著有關



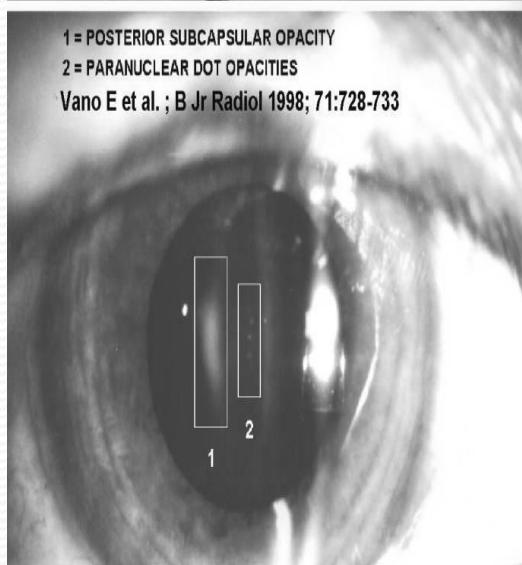
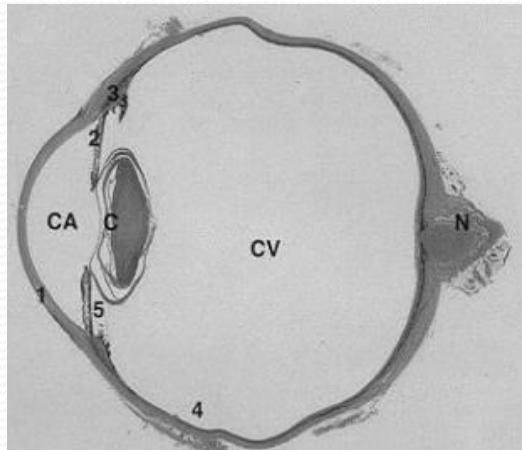
皮膚效應

傷害	劑量閥值 (Sv)	開始週數
早期暫時性紅斑	2	<<1
暫時性脫毛	3	3
主要紅斑	6	1.5
永久性脫毛	7	3
乾性脫皮	10	4
纖維化	10	
皮膚萎縮	11	>14
微血管擴張症	12	>52
濕性脫皮	15	4
晚期紅斑	15	6-10
皮膚壞死	18	>10
二級潰瘍	20	>6



螢光透視下產生的皮膚傷害

眼睛的影響



- 眼球水晶體是高度輻射敏感
- 劑量大於2 Gy 會造成蛋白質凝結
- 有二種影響:

效應	單一劑量 (Sv)	Sv/year (多年)
不透明	0.5-2.0	>0.1
視力受損	5.0	>0.15

曝露型態及健康效應

急性劑量

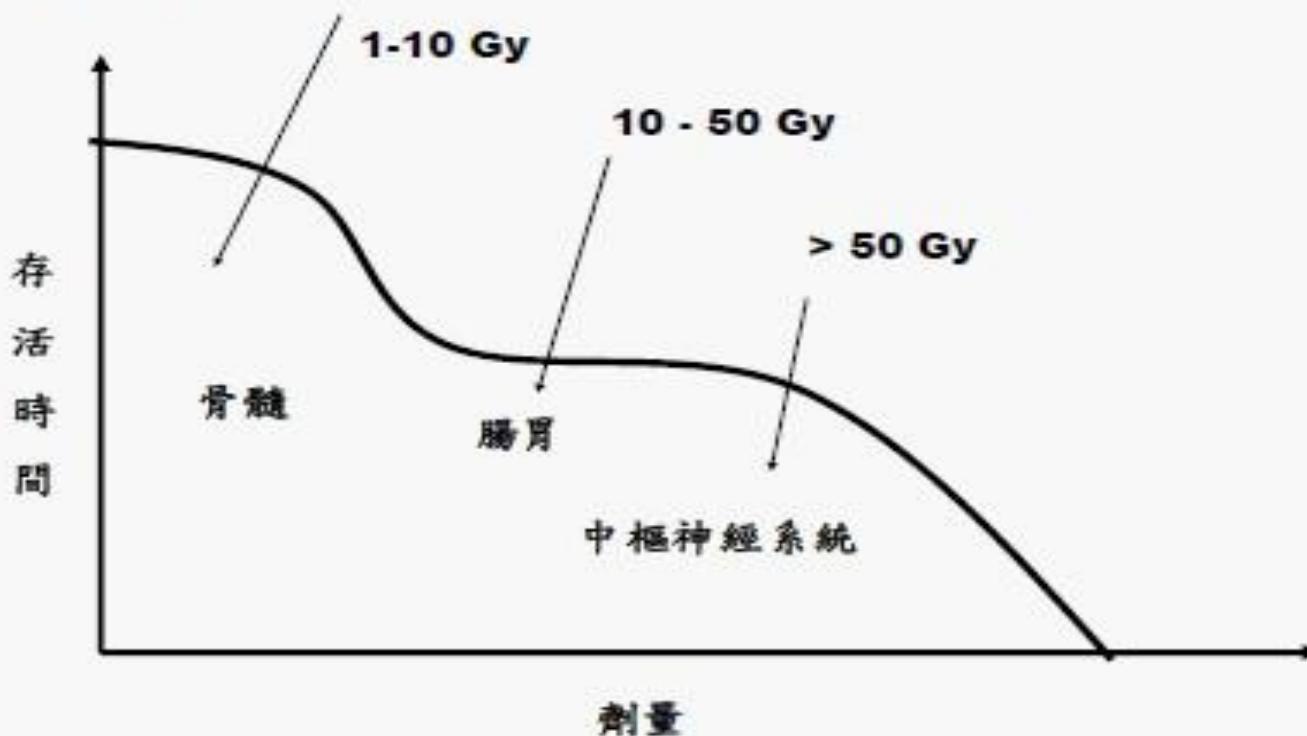
- 短時間接受高輻射劑量(1,000 mSv 以上)
- 高劑量造成的健康效應
- 掉髮, 疲勞
- 早期: 嘔心及嘔吐
- 燒傷及傷口癒合緩慢, 甚至使引起死亡 (6,000 mSv)
- 例子: 醫療曝露及密封射源的意外曝露

慢性劑量

- 長時間接受較低的輻射劑量(50 mSv)
- 接受慢性劑量身體較容易修復
- 造成的健康效應不易觀察
- 例子: 背景輻射及體內累積

急性輻射症候群

急性輻射症候群



急性全身曝露之確定效應症狀

一次劑量 (毫西弗)	確 定 效 應 之 症 狀
250 以下	無可察覺症狀、可能引起血液中淋巴球的染色體變異。
250-1000	可能發生短期的血球變化(淋巴球、白血球減少)，有時有眼結膜炎的發生，但不致產生機能之影響。
2000-4000	24小時內會噁心、嘔吐、數週內有脫髮、食慾不振、虛弱、腹瀉及全身不適等症狀，可能死亡。
4000-6000	與前者相似，但症狀顯示的較快，在2-6週內死亡率為50%。
6000 以上	若無適當醫護，死亡率為100%。

■根據ICRP 103號報告，吸收劑量於100毫西弗以下並無臨床上可察覺症狀

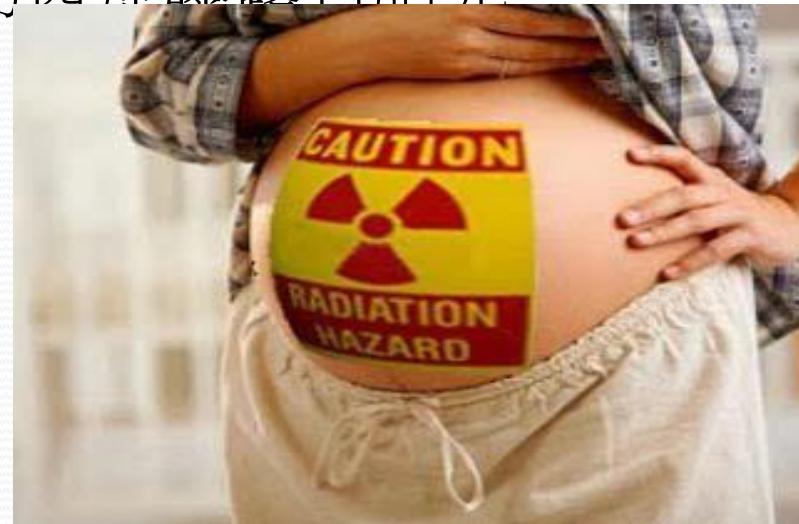
懷孕與醫療輻射

每年有數以千計的懷孕婦女接受到輻射曝露

缺乏專業知識造成極大的不安

- 非必要性的中止懷孕

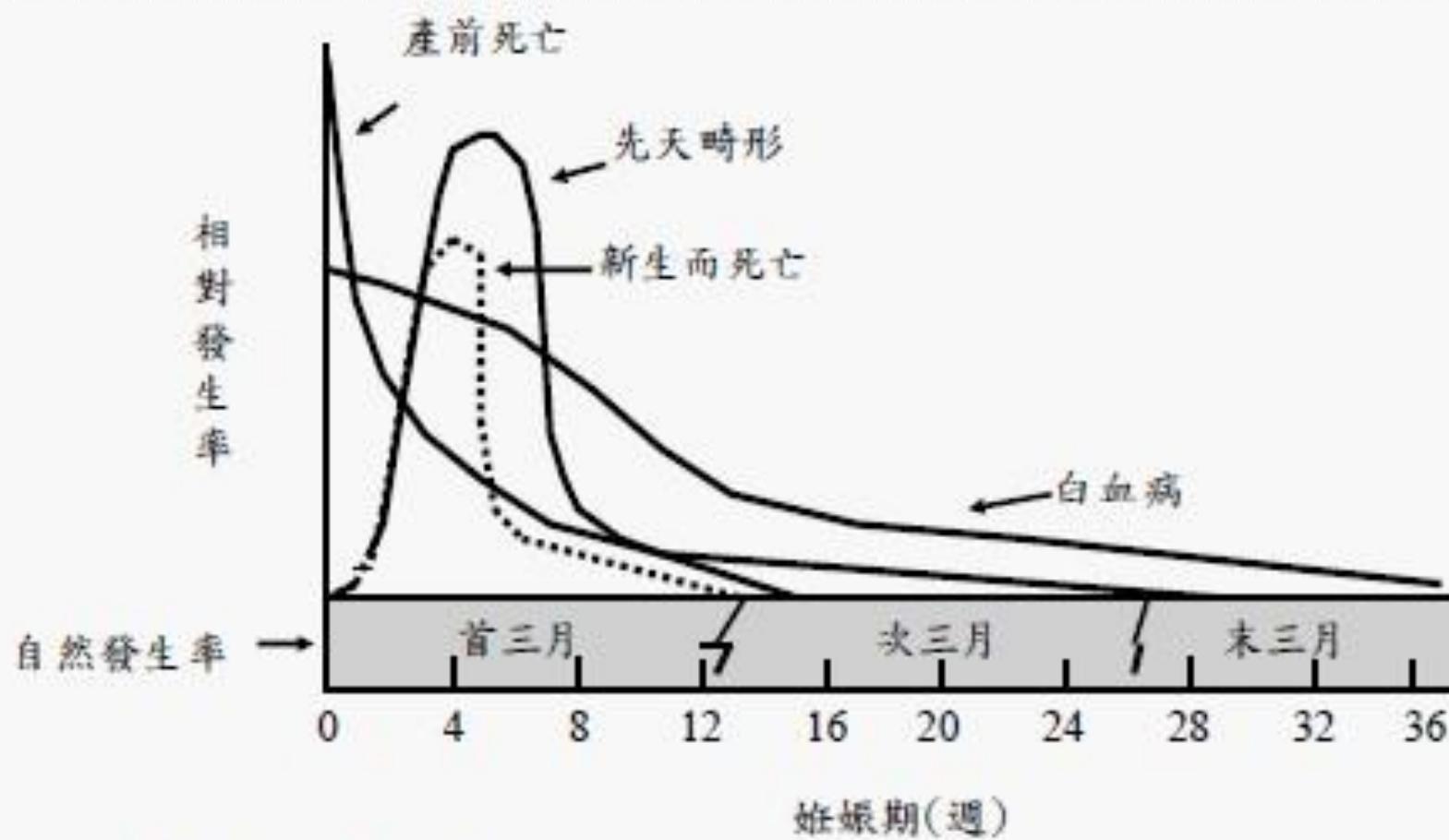
對大多數病人而言適當的醫療曝露對胎兒的 輻射風險是很小的



胎兒的輻射風險

懷孕週期
吸收劑量

風險最高胚胎的早期與器官形成期



Scott Sorenson, 2000

輻射誘發的畸形

誘發畸形的低限劑量為100-
200 mGy 或更高

接受3次骨盆CT掃描或20次傳統診斷X射線檢查
的劑量不會超過100 mGy

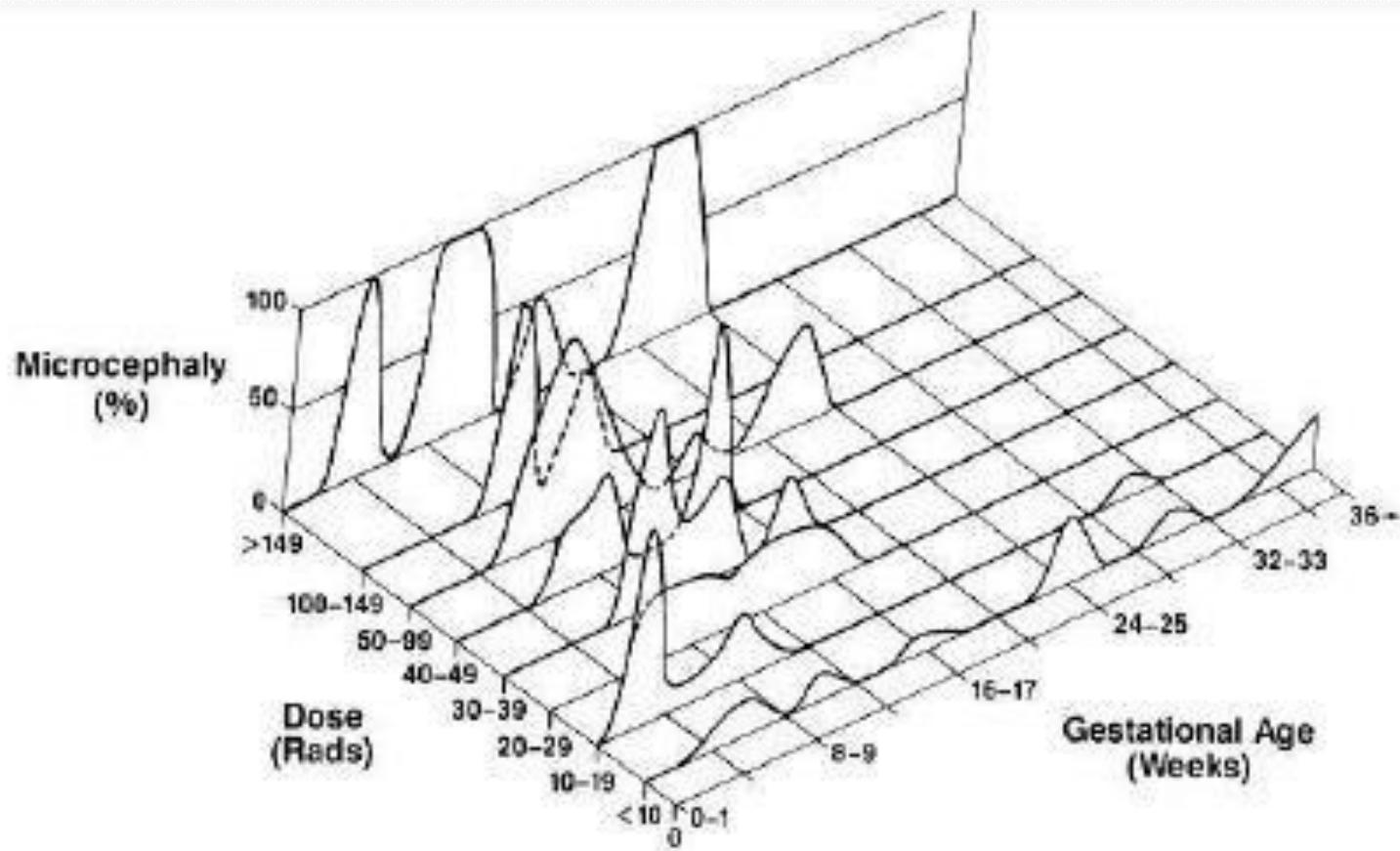
骨盆螢光引導介入性的過程和做放射治療其劑
量 有可能達到100 mGy

中樞神經系統的影響

在受孕8-25週，中樞神經系統
對輻射特別敏感

胎兒劑量超過100 mGy 可能造成IQ 降低

懷孕8-15週，胎兒劑量達到1000 mGy 可能會產生
嚴重的心智遲滯和小腦症，在懷孕16-25週此種現
象較不會發生



原子弹爆炸懷孕生還者子宮受照射小腦症發生頻率、輻射劑量與妊娠期的關係
(Miller 1976)

輻射對心智發育的影響

劑量 $< 0.1\text{Gy}$ 不會造成IQ的降低

妊娠期 8th-15th 接受輻射照
射

- 降低 IQ $30 / \text{Gy}$

廣島地區子宮曝露引起的生長遲滯

高度

短少2.25公分

體重

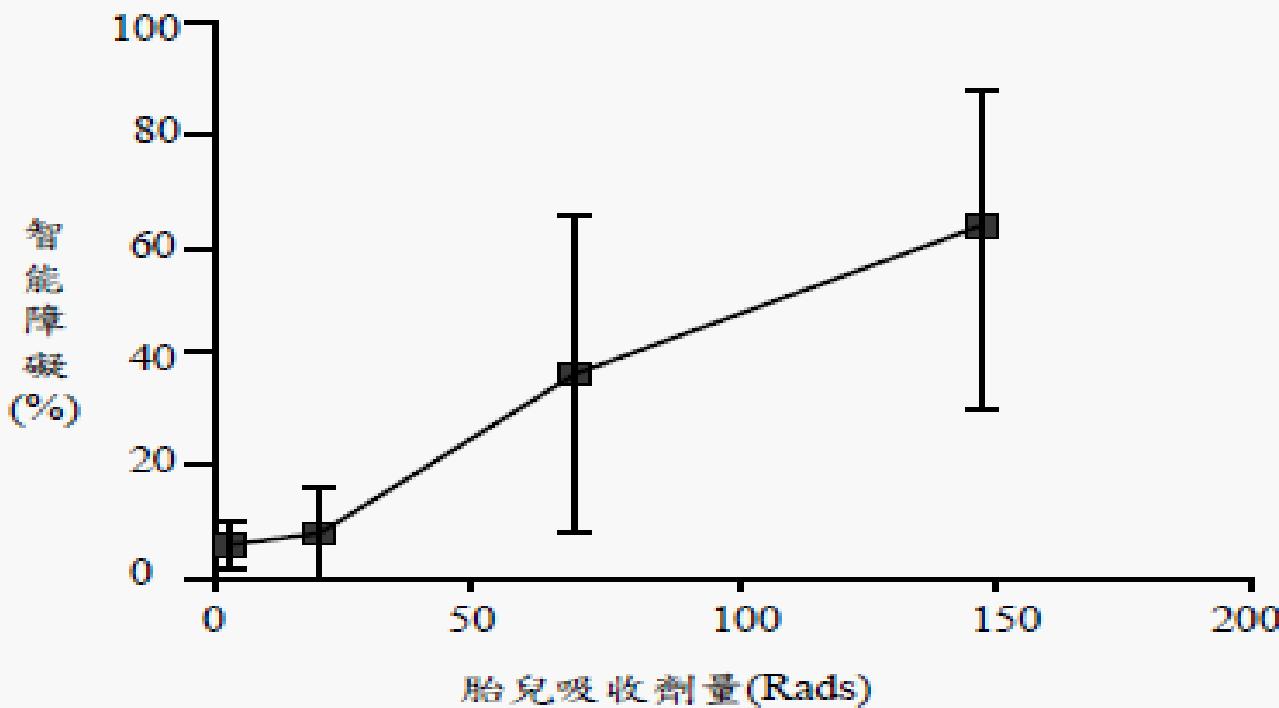
輕3.4公斤

顱圍

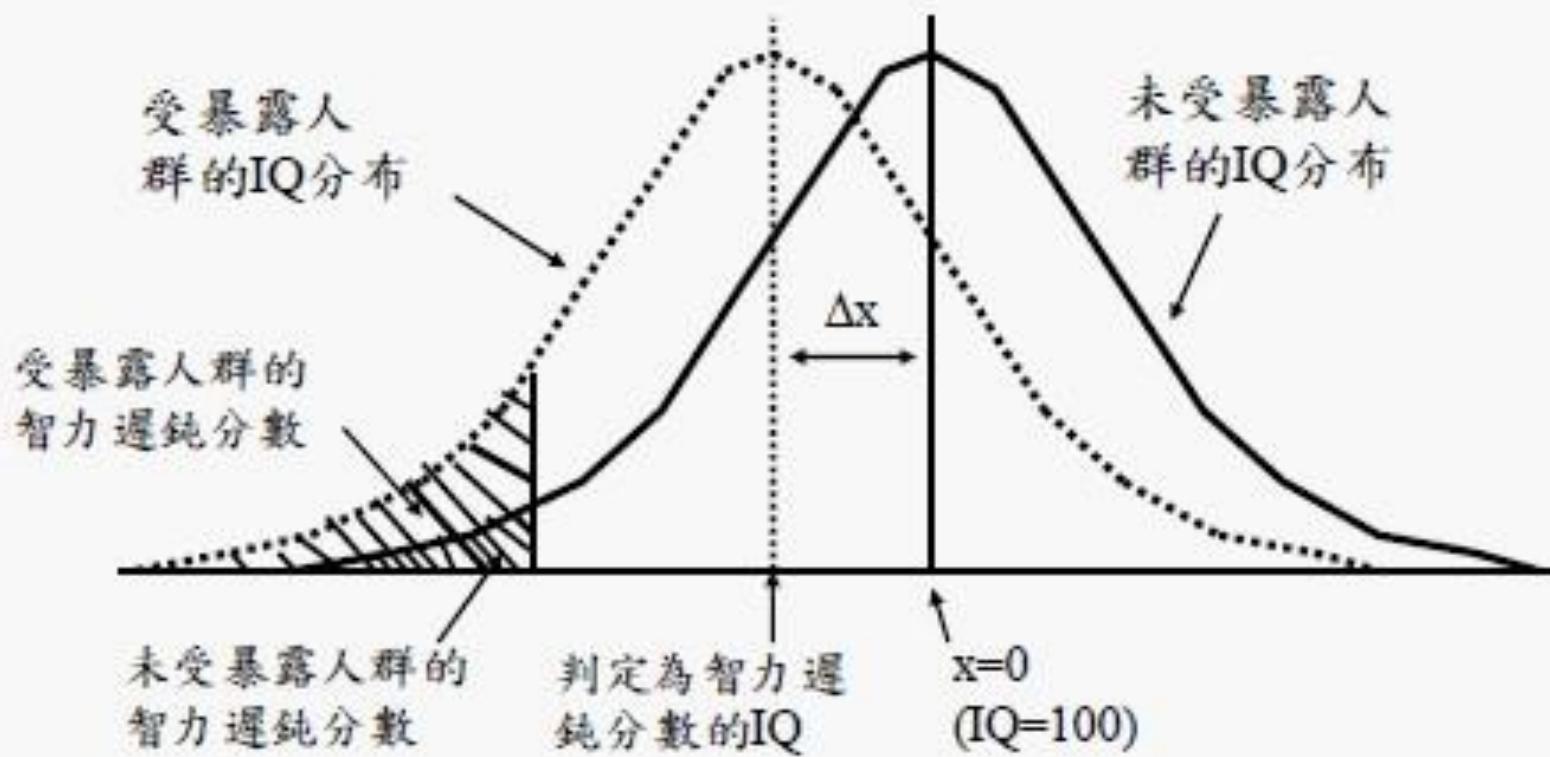
短1.1公分

1613個孩童子宮曝露,追蹤到17歲
離爆炸中心1500m(0.25Gy)與3000m比較

原子彈爆炸子宮曝露引起智能障礙與劑量之關係



Otake M. Brit. J. Radiol. 57:409-414, 1984



妊娠的問題

在放射診療中，預先判斷女患者**有無妊娠或可能妊娠**是很重要的

胎兒的輻射敏感性高，據推算妊娠中的胎兒因受曝露而在以後一生中致癌的危險與幼兒期受曝露的一樣高

放射治療中受高劑量曝露時，有可能造成發育障礙

輻射生物效應與醫療輻射防護

ICRP103報告建議

當妊娠中受到輻射曝露時是否中止妊娠，這要考慮多方面的因素，由個人判斷，但曝露的劑量在100 mGy以下者，不會成為中止妊娠的理由

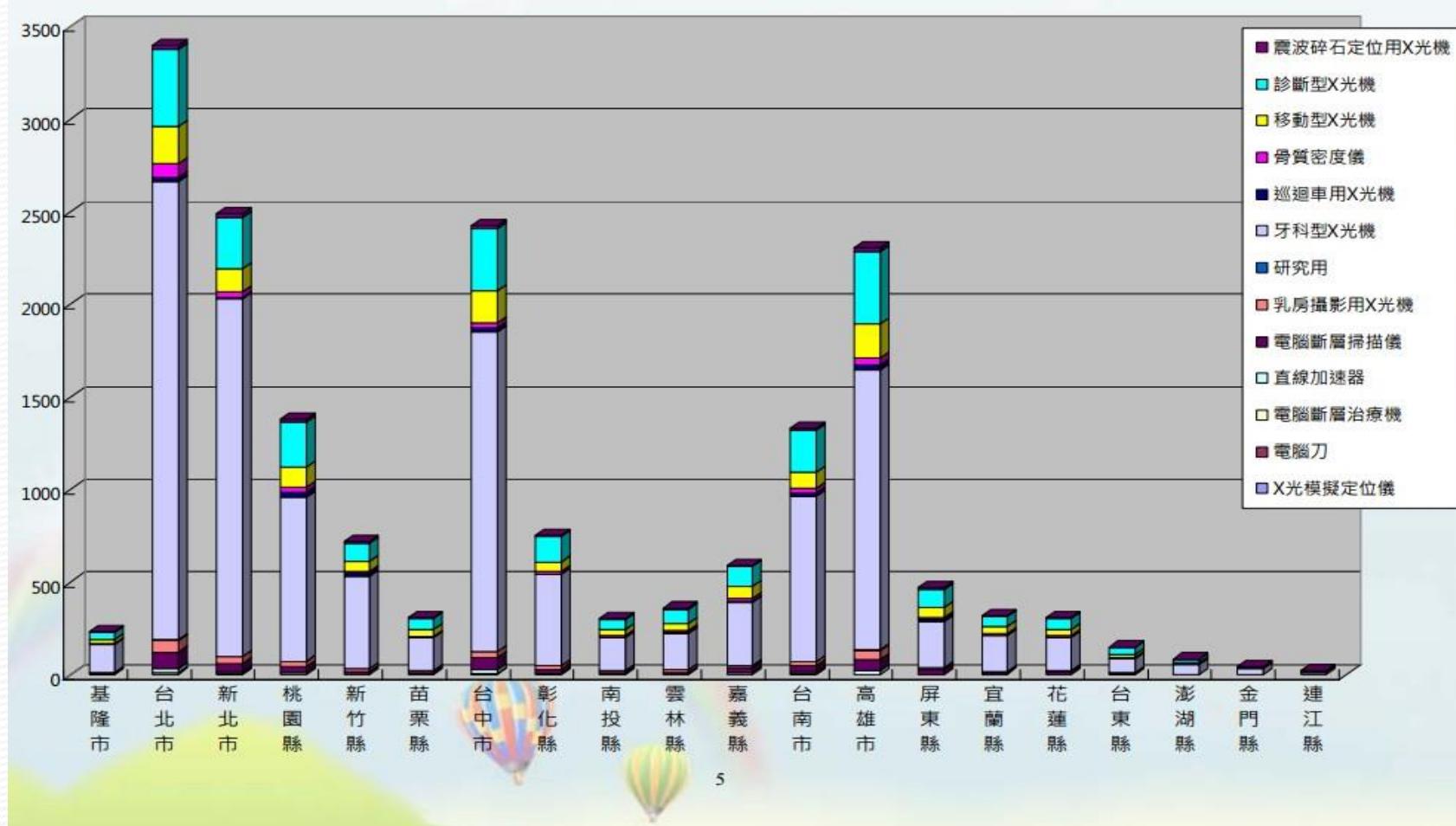
懷孕期10天至26週，胎兒若接受了超過 0.1 Sv 之劑量，應考慮實施人工流產；可孕婦女必須注意腹腔與骨盆腔因診斷所接受劑量。

放射診斷科輻射儀器之使用與輻射劑量

(統計日期：103年05月05日)

證照名稱	類別	數量(張)
放射性物質證照	許可	595
	登記	3,384
可發生游離輻射設備證照	許可	537
	登記	25,391
輻射安全證書		6,776
運轉人員證書 (含高強度輻射設施及生產設施)		120
輻射防護人員認可證明書	輻防師	986
	輻防員	1,884

各縣市各型醫用可發生游離輻射設備之證照數



乳房攝影每年約10萬人次

電腦斷層掃描每年約98萬人次

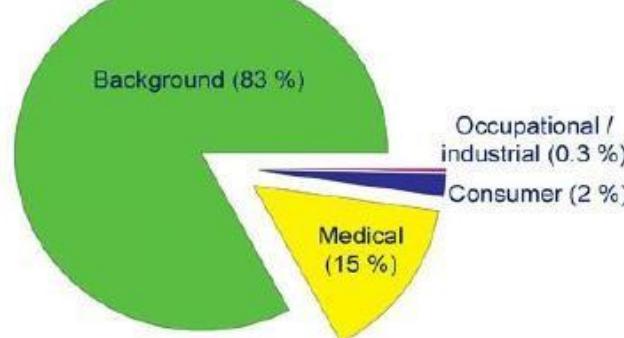
正子造影每年約1萬5千人次

胸部X光檢查每年約500萬人次

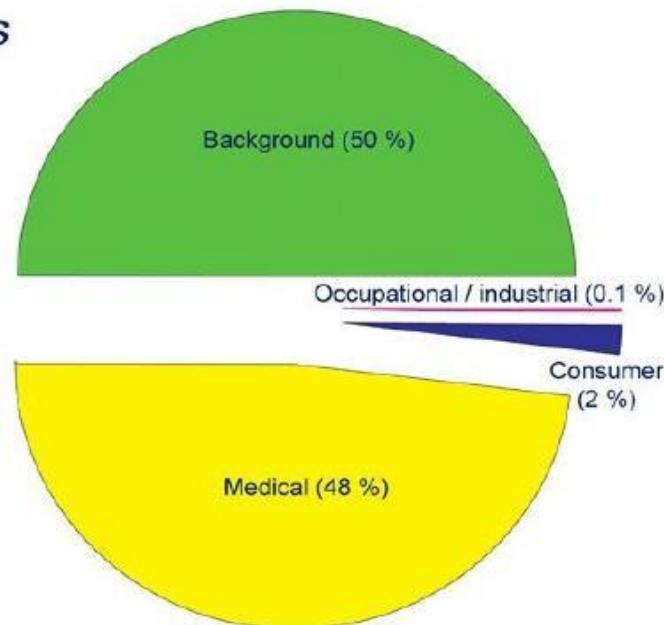
醫療輻射檢查曝露

NCRP Report No. 160, *Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States*

Early 1980s



2006



Collective effective dose
(person-Sv)

Early 1980s

835,000

2006

1,870,000

Effective dose per individual
in the U.S. population (mSv)

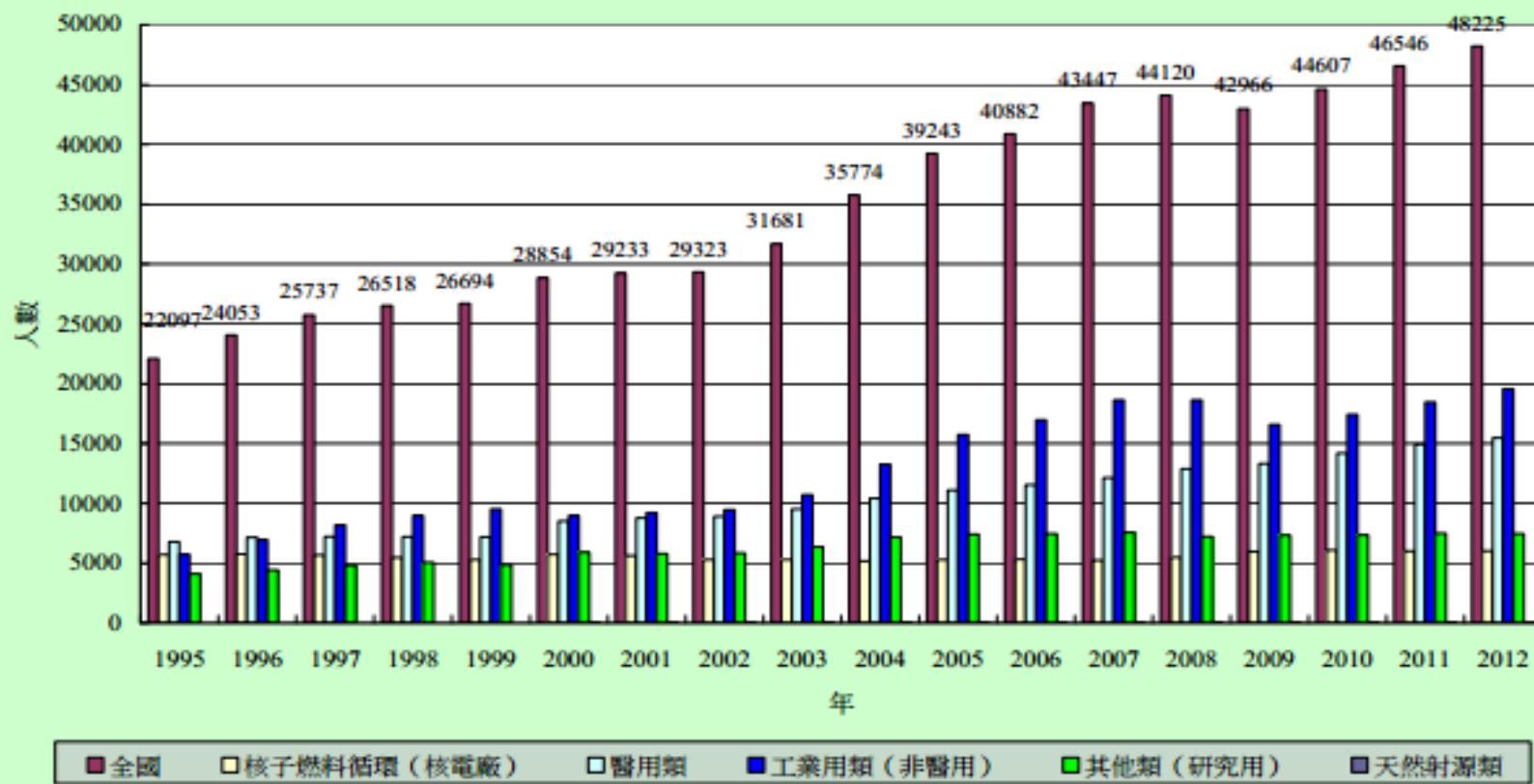
3.6

6.2

資料來源：<http://hothardware.com/News/US-Population-Radiation-Exposure-On-The-Rise/>

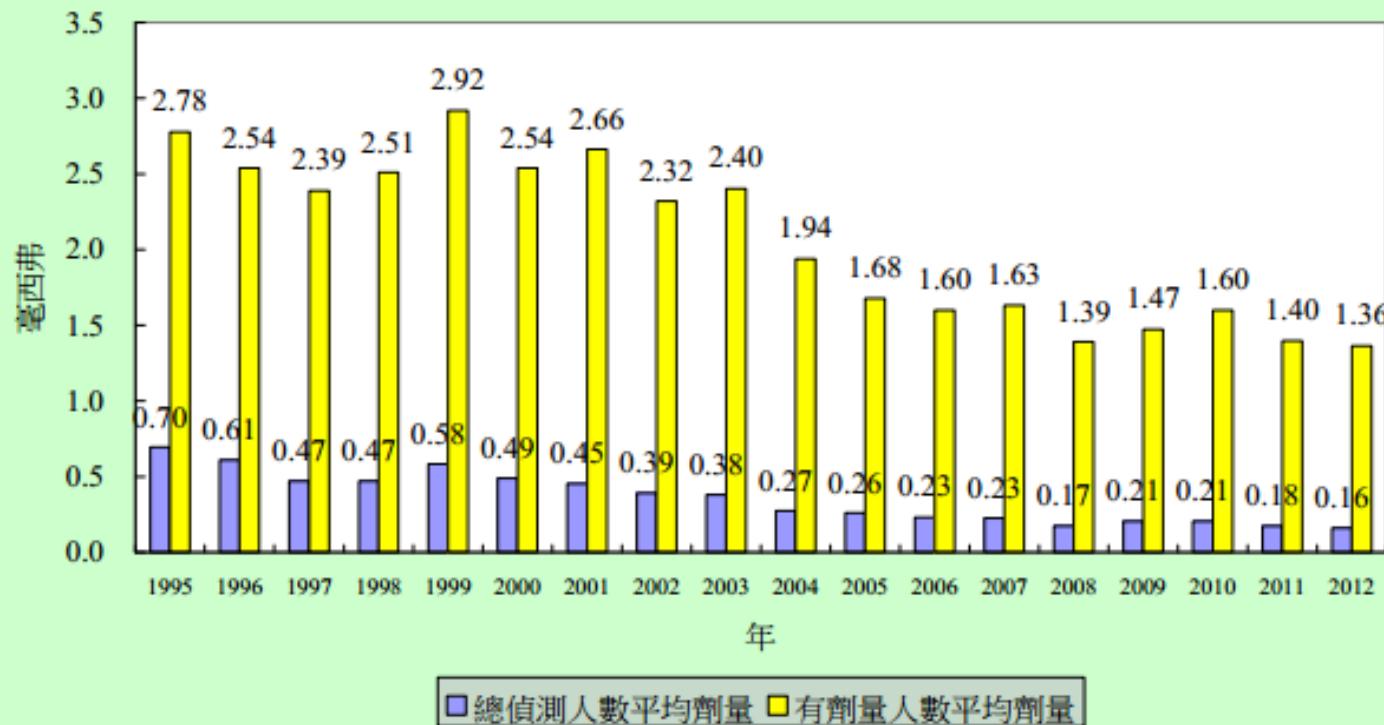
歷年輻射工作人口

全國輻射工作人員數量(1995年-2012年)



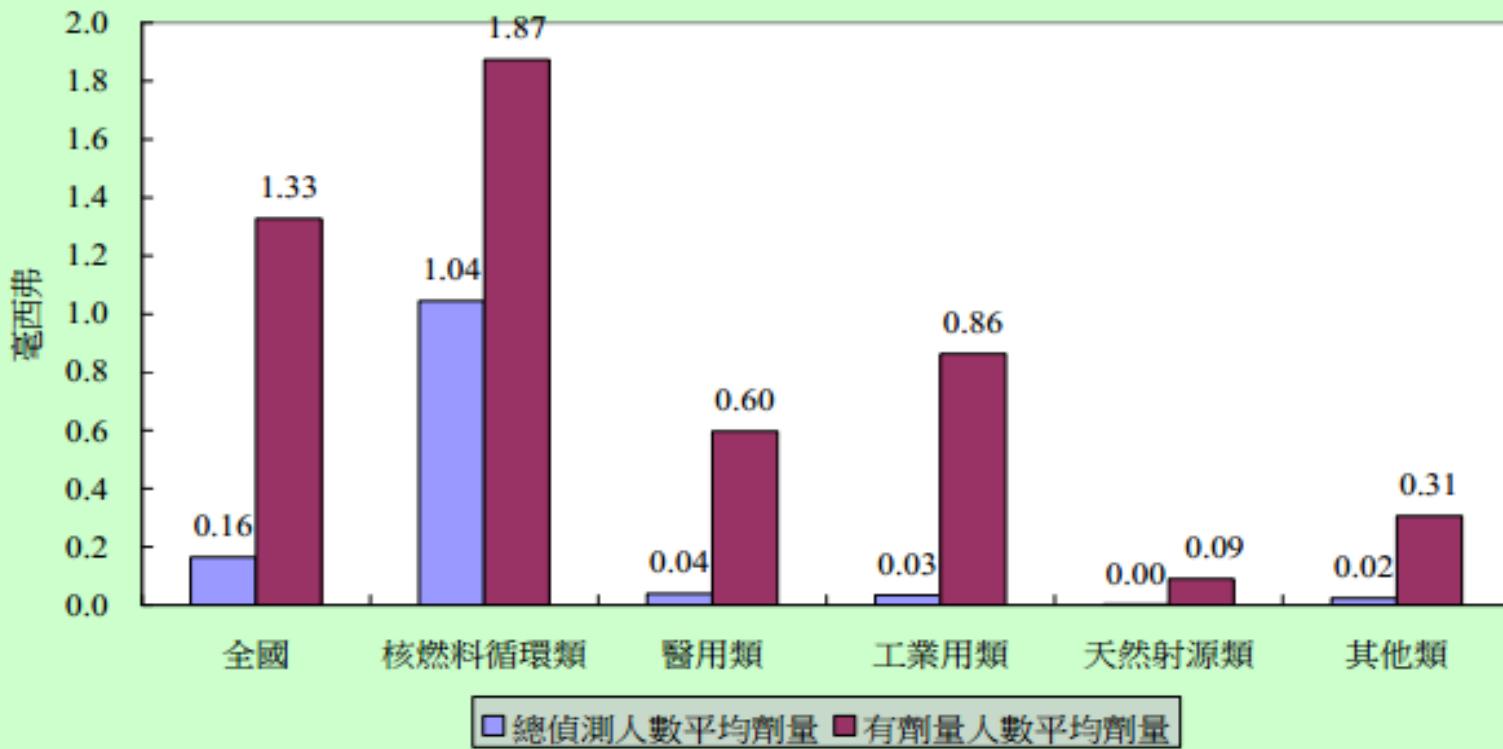
歷年個人平均劑量值

全國輻射工作人員平均劑量值(1995年-2012年)



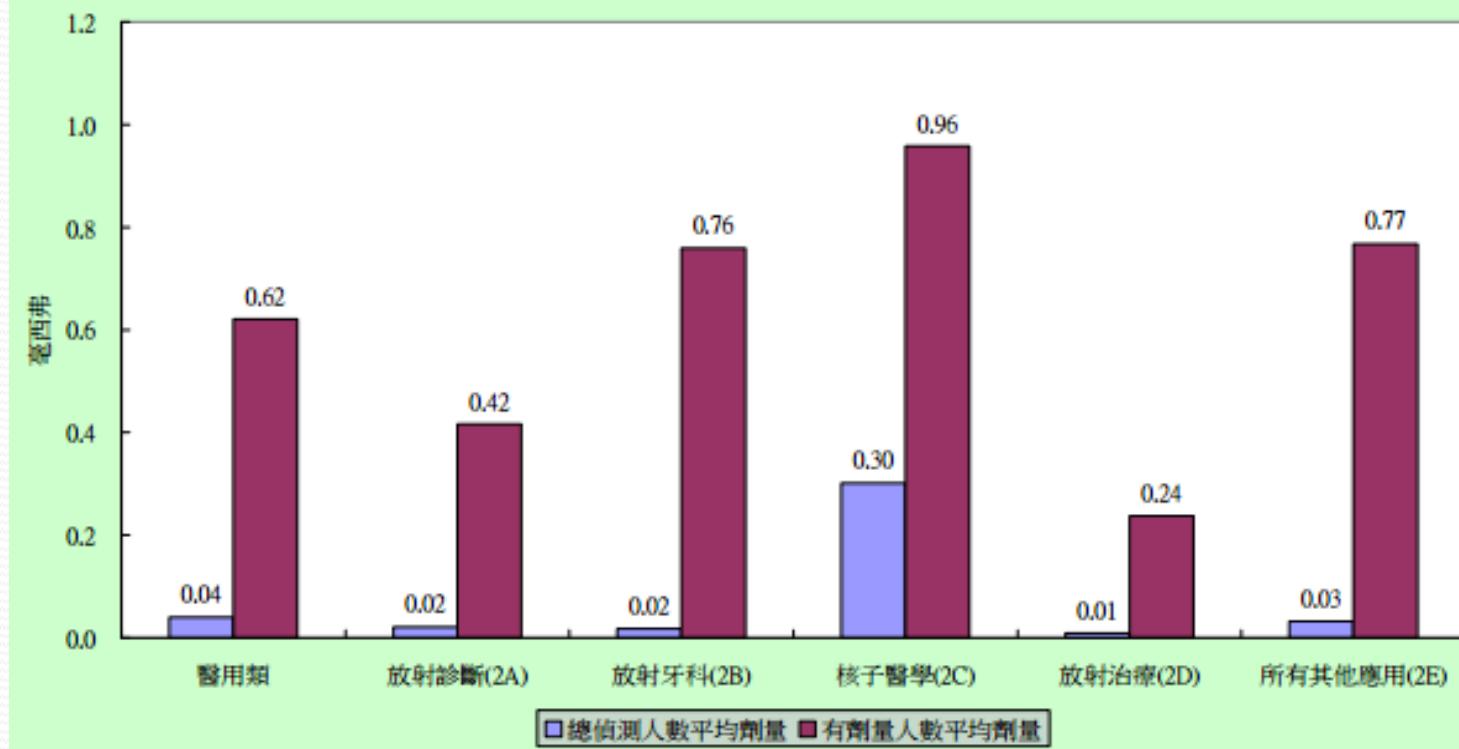
輻射工作人員平均劑量值

全國及各工作類別平均劑量，2012年



醫用類輻射工作人員平均劑量值

醫用類平均劑量，2012年



每年醫學X光檢查檢查數目與其劑量

健康照護 水平 (HCL)	人口 (百萬)	年頻率/ 千人	年集體有效 劑量 (10^3 人西弗)	每年每人 劑量 (mSv)
I	1,540	1,308	2,900	1.87
II	3,153	332	1,000	0.32
III-IV	1,753	20	33(III) 24(IV)	0.03
全世界	6,446	482	4,000	0.61

輻射防護體系

放射診斷的輻射防護體系

- 輻射曝露的劑量分類

- 職業曝露

工作人員職業暴露
一般人暴露

游離輻射防
護標準

- 一般人曝露

病患的醫療暴露

醫療暴露品
質保證

- 醫療曝露

游離輻射
防護法

輻射防護的目的

防止發生對健康有害的非隨機效應

將隨機效應的發生機率降低到被認為是可以接受的水平

醫學暴露輻射防護的基本原則

醫學暴露:診斷或治療過程所接受到的暴露

根據ICRP與BSS輻射防護應遵從

正當化(Justification)

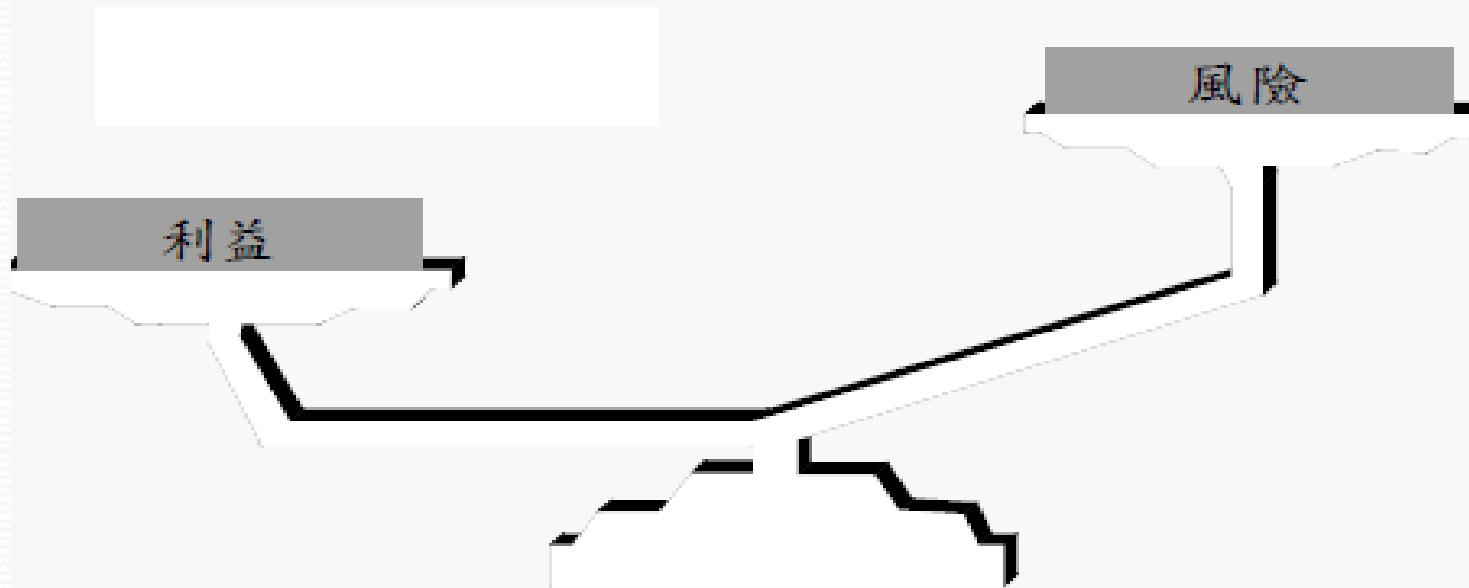
最適化(Optimization)

參考劑量(Reference dose) 或指引水平(guidance level)

暴露的調查(Investigation of exposure)

正當化(Justification)

輻射作業應利大於
弊
應避免意外曝露



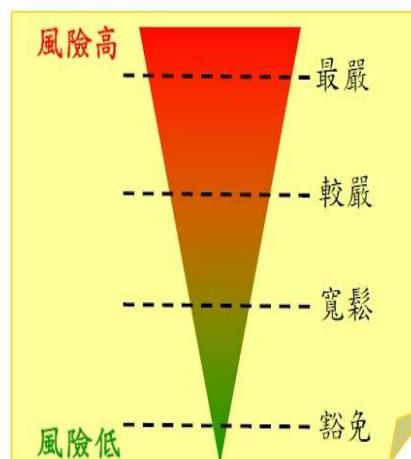
最適化(optimization)

輻射劑量應合理抑低 (as

low as reasonable
ALARA)

最小風險最大利益

- 處理事情的最好選擇
(**最小付出、最大收穫**)
- 最適化的管理
 - 風險高，管理從嚴
 - 風險低，管理從寬



劑量約束(dose constraint)

志願協助病患在接受醫療曝露過程中給予支持、安慰、提供護理或使其舒適者所受之曝露，其劑量應予約束
劑量約束並非劑量限制

劑量約束不適用於病人

劑量約束必須是基於最適化的結果

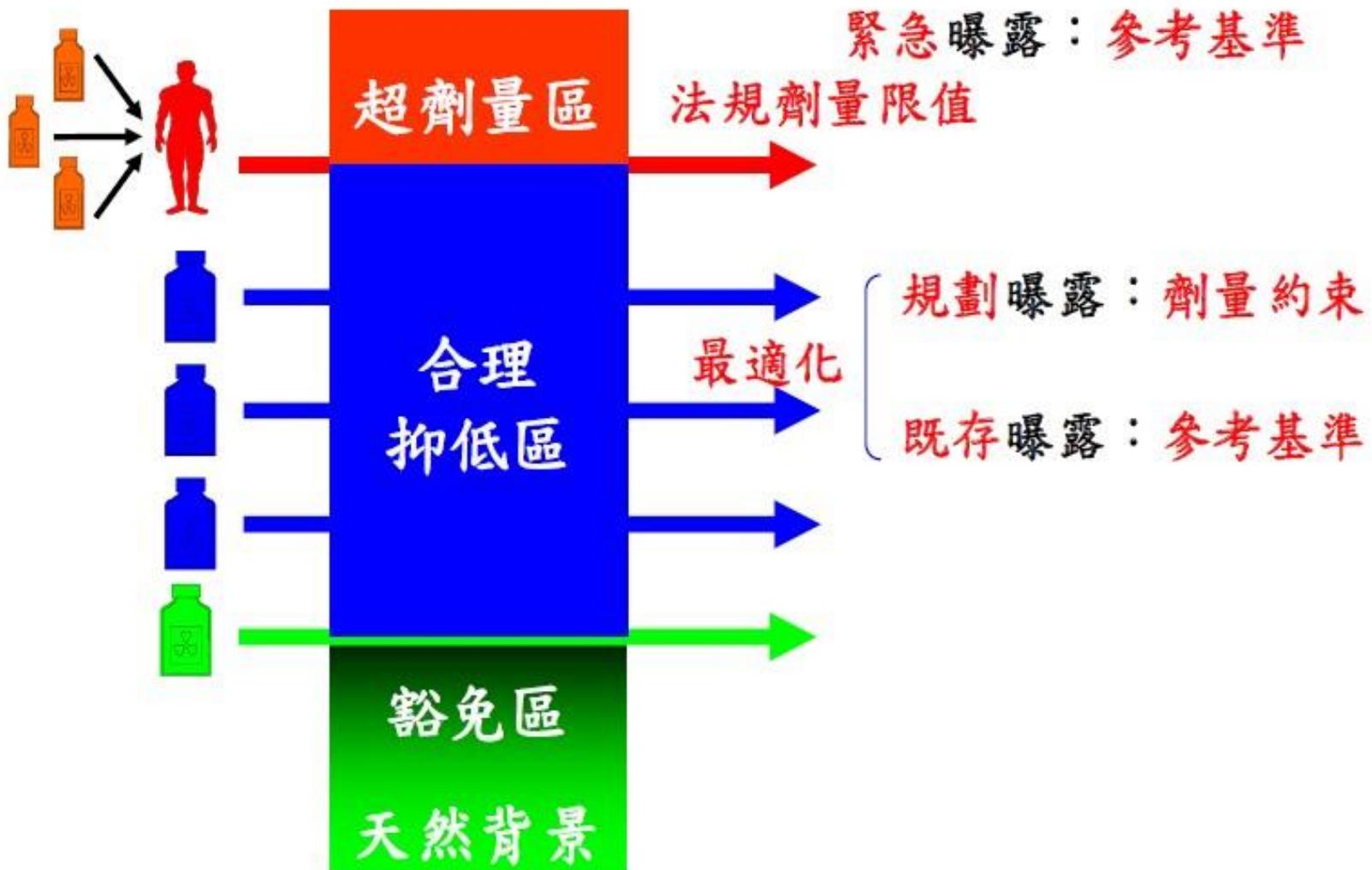
劑量約束與參考基準是與防護最適化聯結的，目的在確保所有的曝露合理抑低，社會與經濟因素應納入考量。

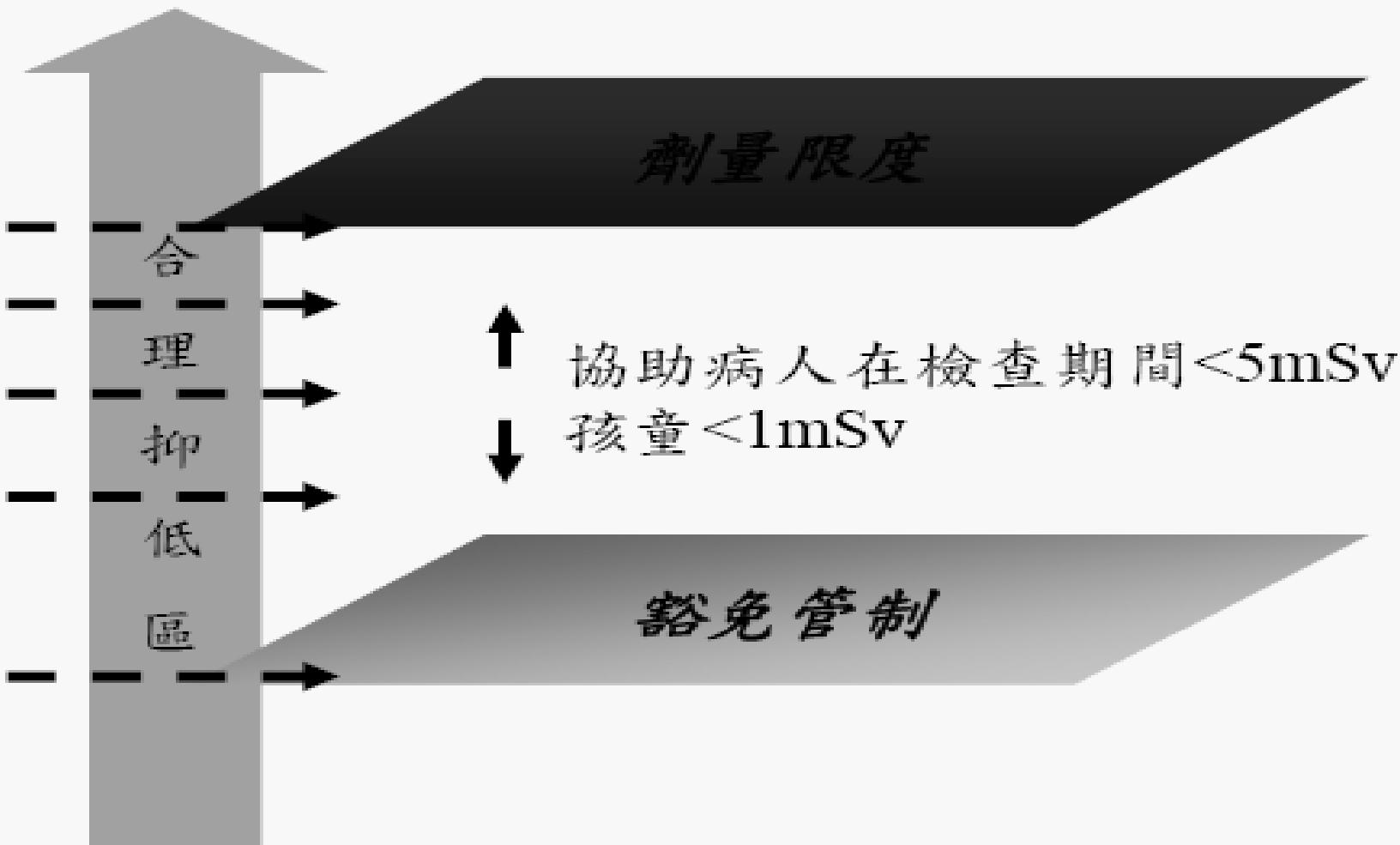
劑量限度(dose limit)

防止確定效應的發生

管制降低機率效應發生的機率

醫學曝露不適用於劑量限制





英國醫學物理暨工程學會(Institute of Physics and Engineering in Medicine) 建

議

當放射線診斷病患劑量大於劑量指引水平**一倍** 時，應即採取改善措施

當放射線診斷病患劑量大於劑量指引水平**兩倍** 時，應即中止設備之使用

指引或參考水平

ICRP 73報告建議病人應使用診
斷參考水平 (Diagnostic reference
level, DRL)

不同病人相同檢查使用輻射劑量差異極
大

診斷X片的指引水平(成人)

檢查	每張片入射的表面劑量 (mGy)
Lumbar spine AP	10
Lumbar spine LAT	30
Lumbar spine LSJ	40
Abdomen, IVU and cholecystography AP	10

診斷X片的指引水平(成人)

檢查	每張片入射的表面劑量 (mGy)
Pelvis AP	10
Hip joint AP	10
Chest PA	0.4
Chest LAT	1.5

診斷X片的指引水平(成人)

檢查	每張片入射的表面劑量 (mGy)
Skull AP	5
Skull LAT	3

Dose values are in air with backscatter. They are for conventional film-screen combination (200 speed class). For higher speed film-screen combinations (400-600), the values should be reduced by a factor of 2 to

診斷X片的指引水平(成人)

檢查	每張片入射的表面劑量 (mGy)
Thoracic spine AP	7
Thoracic spine LAT	20
Dental peri-apical	7
Dental AP	5

CT劑量指引水平(成人)

檢查	多切的平均劑量 (mGy)
Head	50
Lumbar spine	35
Abdomen	25

- (a) Derived from measurements on the axis of rotation in water equivalent phantoms, 15 cm in length and 16 cm (head) and 30 cm (lumbar spine and abdomen) in diameter.

乳房攝影的劑量指引水平(成人)

每一個顧尾的投射平均腺體劑量

1 mGy (without grid)

3 mGy (with grid)

Determined in a 4.5 cm compressed breast consisting of 50% glandular and 50% adipose tissue, for film-screen systems and dedicated Mo-target/Mo-filter mammography units.

螢光透視劑量率指引水平(成人)

操作模式	入射表面劑量率 (mGy/min) (a)
Normal	25
High Level (b)	100

(a) In air with backscatter

(b) For fluoroscopes that have an optional 'high level' operational mode, such as those frequently used in interventional radiology

醫學診斷曝露的有效劑量

Diagnostic procedure	Typical effective dose (mSv)	Equiv. no. of chest x-rays	Approx. equiv. period of natural background radiation
Chest (single PA film)	0.02	1	3 days
Skull	0.07	3.5	11 days
Thoracic spine	0.7	35	4 months
Lumbar spine	1.3	65	7 months

From: Referral Criteria For Imaging. CE, 2000

醫學診斷曝露的有效劑量

Diagnostic procedure	Typical effective dose (mSv)	Equiv. no. of chest x-rays	Approx. equiv. period of natural background radiation
Hip	0.3	15	7 weeks
Pelvis	0.7	35	4 months
Abdomen	1.0	50	6 months
IVU	2.5	125	14 months

From: Referral Criteria For Imaging. CE, 2000

醫學診斷曝露的有效劑量

Diagnostic procedure	Typical effective dose (mSv)	Equiv. no. of chest x-rays	Approx. equiv. period of natural background radiation
Barium swallow	1.5	75	6 months
Barium meal	3	150	16 months
Barium follow through	3	150	16 months
Barium enema	7	350	3.2 years

From: Referral Criteria For Imaging. CE, 2000

醫學診斷曝露的有效劑量

Diagnostic procedure	Typical effective dose (mSv)	Equiv. no. of chest x-rays	Approx. equiv. period of natural background radiation
CT head	2.3	115	1 year
CT chest	8	400	3.6 years
CT Abdomen or pelvis	10	500	4.5 years

From: Referral Criteria For Imaging. CE, 2000

曝露的調查

任何診斷曝露大於所
建立的指引水準

- 儀器老舊
- 意外的錯誤
- ...

據最近美國的放射防護和度量委員會（NCRP）的資料，每個美國人每年因診斷用的輻射曝露超過3 mSv，這個值高於地球上受到天然輻射的曝露的劑量

總結

病人診斷治療過程病人的曝露要正當化

病人曝露的最適化意味著不失去診斷訊息之下讓病人的劑量保持最低

劑量指引水平為輻射參與者重要的參考如果超過水平太多必須有進一步的處置

指引水平並非劑量限值

感謝聆聽