

長庚醫療財團法人  
林口長庚紀念醫院

放 射 腫 瘤 科  
六 年 級 實 習 醫 學 生  
教 學 訓 練 計 劃

林口長庚紀念醫院 放射腫瘤科 編印

中華民國 108 年 3 月修訂

# 目錄

壹、訓練宗旨與目標 .....	2
貳、執行架構與教學師資 .....	6
參、教學資源 .....	7
肆、課程內容及訓練方式 .....	8
伍、考評機制 .....	12
陸、對訓練計畫之評估.....	13
柒、補充附件 .....	14

## 壹、訓練宗旨與目標

### 一、訓練宗旨

- (一) 瞭解放射腫瘤科的醫療照護原則。
- (二) 培養具優質臨床專業及人性化的全人醫師。
- (三) 培養具人文社會關懷及良好醫病與人際關係的好醫師。
- (四) 培養具邏輯思考、解決病人問題能力的好醫師。
- (五) 培養具獨立學習、主動學習、終生學習的好醫師。
- (六) 落實教學導向訓練目標。
- (七) 學習癌症全人照護。

二、訓練目標：培養實習醫學生六大核心能力，教導學員在受訓過程中遵守並實踐本院病人安全與醫療品質的相關政策。

**(一) 醫療專業知識 (Medical knowledge)：**放射腫瘤科實習醫學生能夠熟稔目前已經確立或正在進展中的生物醫學、臨床醫學、流行病學及社會行為科學的知識，並將之應用在對病人的照護中。

1. 了解放射腫瘤醫學領域的相關疾病。
2. 了解常見症狀緩解性放射治療(palliative radiotherapy)的處理概要。
3. 了解放射治療過程中療效及病人狀況評估的要項。
4. 可以衛教家屬關於症狀緩解性放射治療的注意事項。
5. 能夠了解癌症診斷及分期的重要步驟。
6. 了解安寧照護的原則。

**(二) 照顧病人及臨床技能 (Patient care & clinical skills)：**放射腫瘤實習醫學生必須提供適當且有效的病人照護，以處理病人及家屬醫療問題，並促進其健康。

1. 學習適當地在醫療體系中扮演不同的角色以提供醫療服務，包括提供或協助醫療服務、維持良好的醫護溝通。
2. 在門診放射治療過程中，知道如何提供病人整體性全面性的醫療照護。
3. 能夠展現適當的病史詢問能力，分辨癌症嚴重度及分析病人身體狀況以選擇合適的治療。
4. 能夠詳細詢問病史及其他，了解其與疾病和治療的交互關係。
5. 能夠適當且審慎的應用實驗室檢查及影像醫學的檢查技術。

6. 對於尚未有明確診斷的病人能選擇合適的建議。

7. 能夠提供病人及家屬症狀緩解性放射治療的諮商及衛教。

**(三) 人際關係及溝通技巧 (Interpersonal and communication skills) :** 放射腫瘤實習醫學生能有良好的人際關係與溝通技能以便與病人、家屬、同儕及醫療團隊進行資訊交換與溝通，建立團隊合作及良好的傾聽、表達與同理心。

1. 能擁有良好的人際關係與技巧與同儕及醫療團隊互動進行資訊交換與溝通合作。

2. 能展現良好的人際關係與技巧，建立並維持醫病關係。

3. 尊重不同文化、種族、信仰、情緒、及各年齡層的病人以及其他醫療團隊成員。

4. 展現有效的傾聽技巧，並能以語言、非語言、書寫及其他能力來進行溝通及提供資訊。

**(四) 專業素養 (Professionalism) :** 放射腫瘤實習醫學生能展現負責任、尊重、紀律、與愛心之專業態度,堅守醫學倫理原則及對各種病人能包容跨文化間差異；對病人年齡、性別、種族、宗教差異具有一定的理解與敏感度。

1. 實習醫學生的身份是學生，尚不具備醫師的資格，所以只有在被充分的監督下才可以執行醫療行為，以保障病人的安全。

2. 實習醫學生有義務及責任向病人介紹其醫學生的身份，以尊重謙和之態度取得病人同意後，進行臨床的照顧；如果病人拒絕，實習醫學生亦應尊重病人的自主權。

3. 實習醫學生有參與照顧病人的義務，不因病人的貧富貴賤、種族、宗教信仰、性別、年齡而有差別待遇，亦不因照顧病人而本身可能面臨已知或未知的風險，而有差別待遇。對於本身懷孕的實習醫學生，若因照顧病人可能面臨胎兒健康的巨大風險時，可以要求暫時中止照顧病人的行為。

4. 實習醫學生於實習期間進入醫療院所，宜穿著規定的服裝、展現專業儀態，以表達對醫療工作的尊重以及對於病人、病人家屬、及同事的尊重。

5. 實習醫學生對病人進行病史詢問及身體檢查前，必須取得病人的口頭或其他形式之同意，在確保病人安全及尊重病人的氛圍中學習；對女性病人進行身體檢查時，應有護理或其他醫事人員陪同；若病人提出終止談話及檢查的要求時，必需尊重病人的意願，結束當次的訪視。

6. 實習醫學生在對病人進行病史詢問及身體檢查等醫療行為時，若遇到疑慮或困難，應主動尋求同一團隊醫師的協助。

7. 實習醫學生應保護病人的隱私權，不得在非醫療專業之公開場合討論病人的病情，不得將病人的病歷或其複製本帶離醫院。但為病例之討論，得於主治醫師指導下，整理或是擷取病人的資料。
8. 誠實是實習醫學生最基本的品德。無論是參與研究計畫或是對病人及同事，都不應該有任何欺瞞的行為，如果發現任何其他學生或是醫事人員有違反誠實的行為，應依循適當的管道報告。
9. 實習醫學生有責任維護病人的最大利益，不得接受任何個人、團體、公司的不當餽贈或是招待，以避免影響照顧病人的臨床判斷。
10. 實習醫學生不得藉照顧病人之便，與病人或其家屬發生醫病以外的關係。
11. 實習醫學生在照顧病人的過程中，不得喝酒或是濫用藥物，導致其影響病人的照顧。如果發現任何其他學生或醫事人員有上述行為，且預期對於病人的照顧可能產生不良影響，實習醫學生應依循適當的管道報告。
12. 實習醫學生必須學習依其所知的醫學知識，對病人及家屬進行病情解釋與衛生教育。
13. 為使臨床實習的制度更加完善，實習醫學生有責任及權利對指導者提出教學評估與改進的建議，所提的意見應具有建設性。

**(五) 以體系為考量的臨床照護 (System-based practice)：**放射腫瘤實習醫學生能夠認知健康照護制度與體系之運作及緣由；有效整合所有資源以提供適切醫療照護；著重病人安全並避免系統性錯誤，檢討各項醫療決策及操作內容，評估系統資源內容減少系統性錯誤。

1. 明瞭、取得、適當地運用並有效整合所有資源，以提供病人最佳的醫療照護。
2. 評估相關的醫療資訊、資源提供者以及醫療體系，著重病人安全並避免錯誤。
3. 在不影響醫療品質下，能兼顧到醫療照護成本效益與資源分配。
4. 明瞭不同醫療執業模式與照護系統，並妥善的應用來照護每一位病人。
5. 幫助病人能受到適切而妥善的後續醫療照護。
6. 指出醫療照護體系的不當並施行可能的改善方案。

**(六) 以臨床工作為導向進行學習與改善 (Practice-based learning and improvement)：**放射腫瘤實習醫學生能夠具備評估現行醫療照護內容，經過終身、自我學習，吸收科學實證資料並評判資料之可靠性與在病人的適用性，從而改善病人照護；追求醫療

品質改善。

- 1.了解放射腫瘤領域的相關疾病。
- 2.了解常見症狀緩解性放射治療的基本處置。
- 3.能夠區分與腫瘤嚴重度與病人身體狀況好壞而選擇適當的處置。
- 4.能夠判讀基本的實驗室檢查及影像檢查。
- 5.於實習中，對於放射腫瘤知識能不斷的自我更新改進。

以病人為中心的醫療，藉著放射腫瘤病人的實際照護，讓醫師感受到照護病人是以愛與關懷為中心，讓醫師體認診療對象是人，而不是器官、疾病、或某一項不正常的檢驗數據，並經由各種討論會，灌輸腫瘤學整體醫療照護觀念。

## 貳、執行架構與教學師資：

### 一、執行架構：

- (一) 教學訓練計畫總負責人：放射腫瘤科 張東杰主任
- (二) 實習醫學生教學事務負責人：洪宗民醫師
- (三) 實習醫學生教學事務負責總醫師(108 年度)：洪昇平醫師/李靜欣醫師
- (四) 學員由固定之臨床教師指導，以下名單為符合臨床教師資格名單：

### 二、本科現有之臨床教師：

姓名	現 職		主治醫師 年資(年)	學術職級	專業項目
	科 別	職 稱			
洪志宏	放射腫瘤科	副院長	>20	教授	婦科腫瘤, 泌尿道癌, 消化道癌
張東杰	放射腫瘤科	科主任	>20	教授	頭頸部腫瘤, 鼻咽癌, 乳癌, 消化道癌
曾雁明	放射腫瘤科	主治醫師	>20	教授	鼻咽癌, 頭頸部腫瘤, 消化道癌, 乳癌
王俊傑	放射腫瘤科	主治醫師	10-20	副教授	胸腔腫瘤, 婦科腫瘤, 腦瘤
曾振淦	放射腫瘤科	主治醫師	10-20	助理教授	兒童腫瘤, 食道癌, 腦瘤, 軟組織肉瘤
林倩仔	放射腫瘤科	主治醫師	10-20	副教授	頭頸部腫瘤, 鼻咽癌
白冰清	放射腫瘤科	主治醫師	10-20	助理教授	胸腔腫瘤, 食道癌, 腦瘤, 乳癌
林信吟	放射腫瘤科	主治醫師	10-20	助理教授	血液腫瘤, 胸腔腫瘤, 大腸直腸癌
黃意婷	放射腫瘤科	主治醫師	10-20	助理教授	乳癌, 婦科腫瘤, 皮膚腫瘤
范綱行	放射腫瘤科	主治醫師	10-20	助理教授	頭頸部腫瘤, 鼻咽癌, 泌尿道癌
黃炳勝	放射腫瘤科	主治醫師	<10	助理教授	頭頸部腫瘤, 鼻咽癌, 消化道癌
洪宗民	放射腫瘤科	主治醫師	<10	助理教授	頭頸部腫瘤, 鼻咽癌, 乳癌, 食道癌
林士敏	放射腫瘤科	主治醫師	<10	講師	乳癌, 婦科腫瘤
高偉恆	放射腫瘤科	主治醫師	<10	講師	小兒腫瘤, 腦瘤, 肺癌
江盈瑩	放射腫瘤科	主治醫師	<10	一般級	乳癌, 婦科腫瘤
吳耀宇	放射腫瘤科	主治醫師	<10	一般級	軟組織肉瘤, 泌尿道癌
葉永堅	放射腫瘤科	主治醫師	<10	一般級	胸腔腫瘤, 食道癌

### 導師制度：

本院所有實習醫學生均安排有固定年度導師協助生活關懷與學習輔導之工作。

### 參、教學資源：

#### 一、 全院及放射腫瘤部教學資源

(一)本院圖書館有豐富及完整之醫學人文藏書及電子期刊，影音教學檔案可供查閱。

(二)本院擁有設備先進的臨床技能中心及內容豐富的臨床技能訓練教材及師資，每季均定期舉辦如 ACLS 訓練認證, OSCE 訓練教學及評估測驗, EBM 競賽等。

#### 二、 放射腫瘤教學資源

##### (一) 教學資源 (硬體)

1. 直線加速器(含影像導引放射治療系統與銳速刀治療系統) 8 台
2. 質子治療設備(四間治療室)
3. 遙控後荷近接治療設備
4. 電腦斷層模擬 x 光機 3 部
5. 電腦治療計畫系統
6. 合金鉛製作系統
7. 面具等製作系統
8. 放射治療劑量量測設備
  - (1)固態水假體
  - (2)擬人假體
  - (3)電腦化水假體掃瞄系統
  - (4)游離槍、電量計
  - (5)熱發光劑量計系統

三、 訓練場所：本院質子治療中心及病理大樓放射腫瘤科之門診、模型室、護理站、衛教室、治療室。

#### 四、 行政資源

(一)放射腫瘤科設有教育委員會，並有固定負責實習醫學生之教學訓練及生活輔導，每兩個月定期開會隨時檢討及訂定各項工作及追蹤。

(二)提供醫學生隻專屬座位(位於醫師辦公室)，以供儲存個人財物及個人學習。另外科內具備討論室及會議室，以供晨會、教學、討論和團體報告使用。

(三)各臨床使用電腦皆可作為病歷寫作教學及影像教學等

(四)各臨床使用電腦皆可隨時上線使用各式醫學資料庫(如 uptodate) 或圖書館資料庫(如 EBMR—Cochrane, Medline 等)即時查詢最新的資料及實證醫學資料。



## 肆、課程內容及訓練方式

### 一、職前訓練：

1. 全院性職前訓練：至本科受訓之實習醫學生會先接受全院每年例行辦理的職前訓練，包含醫療品質與病人安全課程、感染管制課程、用藥安全課程、國際病人安全目標、醫院工作環境及安全防護訓練及其他各項院內必修職前課程。
2. 本科 orientation 時間：由總醫師視實習醫學生當月報到時間安排。

### 二、教學方式：

以病人問題為課程內容的教學，包括下列教學方式：

1. Case-based discussion 案例討論：以案例的問題為導向進行自主學習後與指導老師討論。
2. Small group teaching 小組臨床教學
3. Ambulatory teaching 門診教學（包括衛教與營養諮詢門診）
4. Observation of radiotherapy associated procedures 治療計劃、治療準備及臨床治療觀摩

### 三、課程內容：

#### （一）一般醫學訓練：

受訓之實習醫學生將參加醫院所辦理之一般醫學課程訓練，內容包含全人醫療、病人安全、醫療品質、醫病溝通、醫學倫理、醫事法規、感染管制、實證醫學、病歷寫作及性別平等之課程等，並由主治醫師於實際照護病人的過程中融入教學。

#### （二）門診訓練：

臨床專業核心課程名稱	教學內容	授課方式	課程預計時間	地點 (訓練場所)
常見婦科癌症 (包括子宮頸癌、子宮內膜癌)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熟悉癌症處理治療方式</li> <li>2. 瞭解致病機轉</li> <li>3. 檢驗、影像檢查判讀</li> <li>4. 熟習與病人、家屬及醫療團對成員之溝通技巧及衛教</li> <li>5. 熟悉放射治療計畫制定</li> <li>6. 熟悉放射治療後產生的短期及長期副作用</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實務操作</li> <li>2. 模具應用</li> </ol>	8 小時	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 門診</li> <li>2. 模型室</li> <li>3. 護理站</li> <li>4. 衛教室</li> <li>5. 治療室</li> </ol>
常見頭頸部癌症	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熟悉頭頸部癌症處理治療方式</li> <li>2. 瞭解致病機轉及致癌危險因子</li> <li>3. 檢驗、影像檢查判讀</li> <li>4. 熟習與病人、家屬及醫療團對成員之溝通技巧及衛教</li> <li>5. 熟悉放射治療計畫制定</li> <li>6. 對於接受放射治療容易產生營養缺失或吞嚥困難的病人，給予主動積極的營養照護</li> <li>7. 熟悉放射治療後產生的短期及長期副作用</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實務操作</li> <li>2. 模具應用</li> </ol>	8 小時	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 門診</li> <li>2. 模型室</li> <li>3. 護理站</li> <li>4. 衛教室</li> <li>5. 治療室</li> </ol>
泌尿道癌	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 熟悉泌尿道癌處理治療方式</li> <li>2. 瞭解致病機轉及荷爾蒙治療</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 實務操作</li> <li>2. 模具應用</li> </ol>	8 小時	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 門診</li> <li>2. 模型室</li> </ol>

臨床專業核心課程名稱	教學內容	授課方式	課程預計時間	地點 (訓練場所)
	3. 檢驗、影像檢查判讀 4. 熟習與病人、家屬及醫療團對成員之溝通技巧及衛教 5. 熟悉放射治療計畫制定及放射治療新技術 6. 熟悉放射治療後產生的短期及長期副作用作用之產生。			3. 護理站 4. 衛教室 5. 治療室
腦瘤	1. 熟悉腦瘤處理治療方式 2. 瞭解放射手術之適應症 3. 檢驗、影像檢查判讀 4. 熟習與病人、家屬及醫療團對成員之溝通技巧及衛教 5. 熟悉放射治療計畫制定及放射治療新技術 6. 熟悉放射治療後產生的短期及長期副作用作用之產生。	1. 實務操作 2. 模具應用	8 小時	1. 門診 2. 模型室 3. 護理站 4. 衛教室 5. 治療室
消化道腫瘤	1. 熟悉消化道腫瘤處理治療方式 2. 瞭解放射手術之適應症 3. 檢驗、影像檢查判讀 4. 熟習與病人、家屬及醫療團對成員之溝通技巧及衛教 5. 熟悉放射治療計畫制定及放射治療新技術 6. 熟悉放射治療後產生的短期及長期副作用作用之產生。	1. 實務操作 2. 模具應用	8 小時	1. 門診 2. 模型室 3. 護理站 4. 衛教室 5. 治療室
胸腔腫瘤	1. 熟悉胸腔腫瘤處理治療方式 2. 瞭解放射手術之適應症 3. 檢驗、影像檢查判讀 4. 熟習與病人、家屬及醫療團對成員之溝通技巧及衛教 5. 熟悉放射治療計畫制定及放射治療新技術 6. 熟悉放射治療後產生的短期及長期副作用作用之產生。	1. 實務操作 2. 模具應用	8 小時	1. 門診 2. 模型室 3. 護理站 4. 衛教室 5. 治療室
放射治療流程	1. 病人護理協談衛教 2. 癌病登記與病人追蹤 3. 營養照護及放射性傷口照護 4. 網路化病人辨識 5. 熟悉遠隔電腦治療計劃作業流程 6. 熟悉近接電腦治療計劃作業程序 7. 熟悉放射手術治療計劃作業程序 8. 熟悉直線加速器 QA 流程 9. 認識各式模型製作與合金鉛擋塊製作。 10. 了解電腦斷層模擬定位之作業流程。 11. 實際參與治療室的病人治療作業。	1. 實務操作 2. 模具應用	8 小時	1. 門診 2. 模型室 3. 護理站 4. 衛教室 5. 治療室
緩解性放射治療 (腦部與骨頭轉移)	1. 熟悉腦部與骨頭轉移處理治療方式 2. 瞭解放射治療之適應症與急症 3. 檢驗、影像檢查判讀 4. 熟習與病人、家屬及醫療團對成員之溝通技巧及衛教 5. 熟悉放射治療計畫制定 6. 熟悉放射治療後產生的短期及長期副作用作用之產生。	1. 實務操作 2. 模具應用	8 小時	1. 門診 2. 模型室 3. 護理站 4. 衛教室 5. 治療室

(三)聯合討論會：

項目	週期	時間	訓練場所	教學時數
晨會病例討論	W4	07:30~08:30	放射腫瘤科討論室	1hr
期刊研究討論 (實證醫學及文獻討論會)	W4	07:30~08:30	放射腫瘤科討論室	1hr
臨床整合性討論會 (Combined conference)	W1、W2、W3、W4	鼻咽癌 W2 9:30AM (病理科討論室) 頭頸癌 W2 7:30AM (病理科討論室) 肝癌 W3 5:00 PM (X光科討論室) 婦癌 W4 5:00PM (病理科討論室) 泌尿腫瘤 W2 7:30 AM (13G 泌尿科討論室) 大腸直腸癌 W2 7:10 (X光科討論室) 腦瘤 W2 7:30AM (放射腫瘤科討論室) 肺癌 W3 4:00 PM (胸腔科門診區)		16hr
RTO 分組治療計畫討論會	W1-W5	腦瘤 W1 12:30 PM 泌尿腫瘤 W2 12:00 PM 消化系統癌 W3 12:30 PM 婦癌 W3 02:00 PM 肺癌 W3 03:00 PM 乳癌 W4 12:30 PM 頭頸癌 W3 7:30 AM 大腸直腸癌 W5 12:30 PM (放射腫瘤科討論室)		3hr
全院 CPC 及特別演講	W3 或 W5	07:30~08:30	醫學大樓第二會議廳	1hr

(四)案例學習：

1. 放射治療急症：由住院醫師與主治醫師帶領學習並處理放射治療之急症(腦轉移、骨轉移造成疼痛、脊髓壓迫症候群等)。
2. 治癒性病人：由指導主治醫師視臨床情境安排並進行小組討論。

#### (五) 課室教學：

1. 放射腫瘤科簡介(1 小時)：包括環境介紹、放射治療基本原理、及安全注意事項。
2. 放射腫瘤治療簡論：針對一疾病進行 case-based discussion，實習醫學生先進行病歷報告及基本治療方式後，再由主治醫師主持討論影像判讀及治療選擇等問題。
3. 實習醫學生將報告的個案依格式完成一份病人病歷教學 note，再由主治醫師給予指導及討論後留存檔案。

#### 四、 相關教材：

按核心課程內容編寫核心課程學習手冊，發予每位學員一份，供學員參考學習之用。

#### 五、 放射腫瘤學訓練要求項目及注意事項：

- (一) 實習醫學生在本科，無夜間學習也無過夜學習。
- (二) 參照學習護照，參與放射腫瘤科臨床工作。除部分特殊治療可能於訓練期間無法安排外，盡量參與護照中要求的學習項目。另外需於學習前後填寫自我評量表，並請指導人員簽章。
- (三) 填寫護照資訊時需保護病人隱私，不得洩漏相關資料。
- (四) 參與放射腫瘤科臨床討論會及與其他科別共同舉行之聯合討論會。另外除當次訓練期間之指導醫師外，也需跟隨其他主治醫師門診或臨床作業以學習不同次專科之癌症治療照顧知識與技能。
- (五) 臨床見習物理組、技術組、及護理組的臨床工作以對整體的癌症治療及照護有更完全的了解。
- (六) 於醫師協助下參與治療計劃的製作與執行。
- (七) 本科臨床事務大多須次專科訓練，故實習醫學生多在師長督導下執行醫療事務。若有任何疑問請立即向醫師或鄰近工作人員反應或求助。

## 伍、考評機制

### 一、考評方式及時機

1. 於受訓期間，學員需繳交一份實証醫學報告。
2. 考核評分標準根據放射腫瘤科評分表為之，內容包括對核心課程瞭解的程度、照護病人的態度、醫護關係的維繫、科內教學活動的參與狀況、學習態度是否積極(附評核表)。發放評核表予臨床教師，供臨床教師針對學員上述表現作出評分。
3. 實習醫學生需於上課/學習前以之前所之知識/印象先行自我評量，並於課後/學習後再重新自我評量。遇有不解處應與主治醫師/住院醫師/物理師/放射師充分討論，並請指導者簽名確認，於實習束時交由總醫師評核。
4. 實習結束前進行專題醫學報告。佔實習成績 20%。
5. 配合醫教會所核定之實習醫學生評核表，由主治醫師與住院醫師針對實習醫學生之醫務核心能力、工作態度於評核表上予以評分。主治醫師與住院醫師評分各佔總成績 40%。(附件二&三)
6. 實習醫學生學習後之回饋統一由醫教會所發之回饋問卷為主。
7. 每月學員對臨床教師之回饋評核成績，將於每月訓練課程結束後回饋於臨床教師；成績不良或被反應學習態度差之學員將加強輔導；臨床教師被反應教學不良者，如持續未改善則將不再安排指導學員。

(1)採用 Case-based dicussion 方式針對姑息性治療(palliative RT)評估學員學習成效。

在本科實習結束時，對學員進行評估。

### 二、回饋方式：

1. 學員對臨床教師之回饋評核(附件七)。
2. 回饋機制：由當月教學負責人於每次完訓召開一次與學員座談會，共同就學員所受訓練之心得、缺失、困難與待改進處，加以研討與彙整意見。(附件五)

### 三、輔導機制：

針對表現不佳之學員，由科內同仁提報實習醫學生負責人，於科內輔導。對於情節嚴重者，通報教學部，本院設有學員輔導中心，學員如需由醫院輔導，將知會本院學員輔導中心，進行危險評估及輔導。

## 陸、對訓練計畫之評估

一、每年檢討與修訂訓練計畫，依據內容為：

1. 實質課程及實習醫學生的教育目標是否達成。
2. 住診、門診及臨床教學評估，了解訓練成果是否符合實習醫學生之訓練要求。
3. 訓練學員對於訓練計畫的意見與滿意度。

二、計畫之修訂經醫學教育委員會核可，送院區醫學教育委員會審查核可後公告。

## 柒、補充附件

### 附件一、臨床技能項目要求

為全面提升實習醫學生之臨床技能並考慮病人安全，符合世界潮流而特別訂立以臨床基本能力提升訓練課程及評量。衛福部及教育部對於醫學生之能力要求為利於與畢業後之訓練接軌。全國醫學校院院長會議(2011/03/08)之醫學系學制改革規劃小組-臨床實習及技能評估小組特別制定一份“醫學系畢業時基本能力之評估項目”以供各醫學校院醫學系及其相關之教學實習醫院參考。本院教學部及本科實習醫學生教育委員也訂立“林口長庚紀念醫院醫學系畢業時基本能力之評估項目”，與本科相關且主要負責基本能力項目之訓練課程設計如下表，包含課程內容、訓練方式、訓練頻率、課程內容及考評機制。

#### 技能項目要求 Level 之定義

<b>Level I</b>	學生有基礎的醫學及臨床知識，能夠在小組討論、講堂或醫院中展現(說、寫、或做)這些基礎的能力。
<b>Level II</b>	學生能夠將醫學及臨床知識融入臨床議題以及應用在”各式各樣的臨床情境中”並在小組討論、講堂或醫院中能展現(說、寫、或做)上述能力。
<b>Level III</b>	學生能在依目標而設計的訓練及(或)模擬專業情境之下(如 OSCE, Mini-CEX)，展現其執行能力。
<b>Level IV</b>	學生能夠在”幾近/或臨床實境中”，展現其執行能力(在臨床實境中學生被緊密的監督,所以不是獨立的執行醫療行為)。執行任務前，教師會給予明確指導，整個過程都需充分提供監督與指導。 <ul style="list-style-type: none"><li>• 無侵襲式技能為 Level IV 之訓練模式：臨床教學若有病人互動需求，如 Breathing sound、胸部扣診等，學生必須在臨床教師全程督導下與病人進行臨床教學。</li><li>• 侵襲式技能為 Level IV 之訓練模式：學生僅能見習不動手，不可於病人身上操作。如 ABG sampling, NG insertion 等。</li></ul>
<b>Level V</b>	無論侵入與否，學生皆需於臨床教師監督下進行見習，侵入式技能學生僅能見習不動手，不可於病人身上操作。如 ABG sampling, NG insertion 等。此定義不含無與病人互動接觸之技能，如實證醫學搜尋及選取正確醫療資訊的能力等。

第一部分 放射腫瘤科臨床能力

基本能力項目	課程內容	能力項目 要求等級
疼痛的測量以及記錄 (Measurement and recording of pain)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 評估疼痛的部位、範圍或輻射大小，開始時間和疼痛型態，疼痛期間長短、特性或性質，加強或減輕因素，及相關症狀。</li> <li>2. 知道評估疼痛測量的工具(含疼痛數字評價量表 Numeric Pain Scale, NPS)，疼痛視覺模擬評分法 Visual Analog Scale, VAS)。</li> </ol>	V
咽喉的檢查 (Oropharyngeal examination)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 使用壓舌板檢查口咽各構造包括：舌部、口底、軟硬腭、頰部及咽部黏膜及扁桃腺。</li> <li>2. 觀察並詢問病人，咽喉檢查過程中，是否有不適反應。</li> </ol>	V
適當的處理疼痛 (Prescribe a pain treatment order)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 作疼痛的病史探查，身體診查，使用疼痛量表及鑑別診斷。</li> <li>2. 說明止痛藥物的藥理，藥物劑量相等性的換算及副作用。</li> <li>3. 說明成癮性止痛藥的法規管制，並能對病患與家屬，正確溝通藥物的使用。</li> </ol>	IV
基礎電腦斷層影像判讀 (Interpret a CT image)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 說明各項電腦斷層影像檢查的適應症及禁忌(包括顯影劑的安全使用)。</li> <li>2. 具備電腦斷層學及相關部位解剖學知識。</li> <li>3. 確認電腦斷層影像病人姓名、檢查日期及影像方向(orientation)。</li> <li>4. 系統性的描述電腦斷層影像，並指出病灶之型態及特性。</li> <li>5. 判讀常見的異常電腦斷層影像，並且列出鑑別診斷。</li> </ol>	IV
基礎磁共振造影斷層影像判讀 (Interpret a MR image)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 說明各項基礎磁共振造影斷層影像檢查的適應症及禁忌(包括顯影劑的安全使用)。</li> <li>2. 具備基礎磁共振造影斷層學及相關部位解剖學知識。</li> <li>3. 確認基礎磁共振造影斷層影像病人姓名、檢查日期及影像方向(orientation)。</li> <li>4. 系統性的描述基礎磁共振造影斷層影像，並指出病灶之型態及特性。</li> <li>5. 判讀常見的異常基礎磁共振造影斷層影像，並且列出鑑別診斷。</li> </ol>	IV



## 第二部分 共通能力

基本能力項目	課程內容	能力項目 要求等級
溝通能力 (Communication skills)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 會適切地與病人及其家屬溝通，以及詢問病史、說明診斷及處置計畫。</li> <li>2. 以病人聽得懂的語言，解釋檢查結果，並且適當說明病情及其預後。</li> <li>3. 適切地給予病人及家屬關懷與支持。</li> <li>4. 與上級醫師或其他醫療團隊同仁，有適當的溝通及討論。</li> </ol>	IV
提供病人衛教的 能力 (Patient education)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 以病人為出發點。</li> <li>2. 與病人發展夥伴關係，並讓其參與治療計畫。</li> <li>3. 使病人容易瞭解衛教內容：用病人的語言、內容具體簡單、雙向溝通等。</li> <li>4. 結束衛教時，能作出簡短的摘要，並提出適當的追蹤計畫。</li> </ol>	IV
搜尋及選取正確 醫療資訊的能力 (Literature appraisal)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 說明並且執行“實證醫學”五大步驟： <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 提出適切的問題</li> <li>(2) 找合適的資料</li> <li>(3) 分析、判斷資訊的正確性</li> <li>(4) 資訊於臨床案例的應用</li> <li>(5) 評估執行成果</li> </ol> </li> </ol>	V
口述報告 (Presentation) 的 能力 (Bedside and conference)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 獨立整合臨床病症的知識、問診及身體診察的結果，並且能完成邏輯清晰的口頭報告。</li> <li>2. 注意聽眾反應，並掌握時間。適時提問、尋求回饋與改進。</li> </ol>	V
團隊合作的能力 (Team work)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 說明團隊組成份子的角色。</li> <li>2. 說明醫師於醫療團隊中的工作以及與其他專業人員的互動關係。</li> <li>3. 能夠參與跨領域團隊合作，共同照顧病人，完成醫療工作。</li> <li>4. 有效地與團隊成員溝通，並且尊重其他團隊成員。</li> </ol>	IV
書寫的能力 (Documentation)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 詳實並正確撰寫放射腫瘤科 initial note。</li> <li>2. 詳實並正確撰寫門、急診病歷。</li> </ol>	IV

附件二、主治醫師對實習醫學生訓練評核表

放射腫瘤科主治醫師對實習醫學生訓練評核表

學員姓名													照片
實習科別		放射腫瘤科											
訓練期間		自 年 月 日至 年 月 日											
評核項目		學員自評	評分(勾選) ※單項7分為合乎標準										
			傑出		優良		尚可			待改進		無法評量	
		1-9	10	9	8	7	6	5	4	3	2		1
醫務核心能力	能夠了解核心課程相關內容 15%												
	參與相關教學活動 20%												
	臨床病例報告及討論能力 20%												
	PBL-EBM 能力 10%												
工作態度	責任感、積極性與學習態度的表現 20%												
	與醫療團隊互動能力 15%												
學員自評後簽名													
綜合意見與評語													
指導主治醫師													

※ 評分說明：以「7」分為評分基準點，若低於 70 分以下者，將請導師協助輔導。

※ 評核流程：本表雙線以上欄位由六年級實習醫學生填寫後，實習第一天交由指導主治醫師評核【若未貼照片請退回補件】，實習結束 1 週內請將本表交回科內彙總(次月 15 日前將考核資料輸入 HIS-->建檔後寄回林口教學部)

評核項目評分標準參考請見背頁

※評核項目評分標準參考：

評核項目	說明
能夠了解核心課程	依各科之實習醫學生訓練計畫書中所規劃之核心課程項目，包括基本臨床技能、全人照護、一般醫學課程之認知與了解程度予以評分。
參與相關教學活動	床邊教學、晨會、臨床討論會、雜誌討論會、臨床病理討論會或外科組織病理討論會、併發症及死亡病例討論會等等科內各項教學活動之參與頻率。
臨床病例報告及討論能力	參與上述教學活動或臨床工作時，其臨床病例報告及討論表達技巧。若報告時融入醫學倫理或法律層面，酌予加分。
PBL-EBM 能力	PBL-EBM 能力包括能夠主動積極地自我學習（發現問題及解決問題），並能融入證據醫學、醫學倫理及醫療品質的精神與方法照顧病人，且能於教學活動中表達出來，或記錄於病歷中。
責任感、積極性、學習態度	認同臨床工作，能夠主動積極地自我學習，並能於臨床工作中表現出來。
與醫療團隊互動能力	尊重醫護同僚的專業知識與技能、合作順暢、有禮貌。

附件三、住院醫師對實習醫學生訓練評核表

放射腫瘤科住院醫師對實習醫學生訓練評核表

學員姓名												照片	
實習科別		放射腫瘤科											
訓練期間		自 年 月 日至 年 月 日											
評核項目	學員自評	評分(勾選)											
		※單項7分為合乎標準											
		傑出		優良		尚可			待改進			無法評量	
1-9	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1			
醫務核心能力	能夠了解核心課程相關內容 15%												
	參與相關教學活動 20%												
	臨床病例報告及討論能力 20%												
	PBL-EBM 能力 10%												
工作態度	責任感、積極性與學習態度的表現 20%												
	與醫療團隊互動能力 15%												
學員自評後簽名													
綜合意見與評語													
指導住院醫師													

※ 評分說明：以「7」分為評分基準點，若低於 70 分以下者，將請導師協助輔導。

※ 評核流程：本表雙線以上欄位由六年級實習醫學生填寫後，實習第一天交由指導主治醫師評核【若未貼照片請退回補件】，實習結束 1 週內請將本表交回科內彙總(次月 15 日前將考核資料輸入 HIS-->建檔後寄回林口教學部)

評核項目評分標準參考請見背頁

※評核項目評分標準參考：

評核項目	說明
能夠了解核心課程	依各科之實習醫學生訓練計畫書中所規劃之核心課程項目，包括基本臨床技能、全人照護、一般醫學課程之認知與了解程度予以評分。
參與相關教學活動	床邊教學、晨會、臨床討論會、雜誌討論會、臨床病理討論會或外科組織病理討論會、併發症及死亡病例討論會等等科內各項教學活動之參與頻率。
臨床病例報告及討論能力	參與上述教學活動或臨床工作時，其臨床病例報告及討論表達技巧。若報告時融入醫學倫理或法律層面，酌予加分。
PBL-EBM 能力	PBL-EBM 能力包括能夠主動積極地自我學習（發現問題及解決問題），並能融入證據醫學、醫學倫理及醫療品質的精神與方法照顧病人，且能於教學活動中表達出來，或記錄於病歷中。
責任感、積極性、學習態度	認同臨床工作，能夠主動積極地自我學習，並能於臨床工作中表現出來。
與醫療團隊互動能力	尊重醫護同僚的專業知識與技能、合作順暢、有禮貌。

附件四、學習前後自我評量

學習前後自我評量

1. 自我評等：A. 很熟悉 B. 部分熟悉 C. 不甚熟悉

項目	教學前評估	教學後自我評估	指導者 簽章
1. 放射治療流程&環境介紹	評等： 原本想法：	評等： 學後心得：	
2. 模型室(mold room)見習	評等： 病歷號： 診斷： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 學後心得：	
3. 模擬攝影(CT simulation)見習	評等： 病歷號： 診斷： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 學後心得：	
4.放射治療概論上課(1)	評等： 原本想法：	評等： 教學後心得：	
5.放射治療概論上課(2)(含基本影像判讀)	評等： 原本想法：	評等： 教學後心得：	

## 學習前後自我評量

自我評等：A. 很熟悉 B. 部分熟悉 C. 不甚熟悉

	教學前評估	教學後自我評估	指導者 簽章
6.頭頸部腫瘤門 診跟診	評等： 病歷號： 診斷： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 教學後心得：	
7.胸部/縱隔部門 診跟診	評等： 病歷號： 診斷： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 教學後心得：	
8.泌尿道腫瘤門 診跟診	評等： 病歷號： 診斷： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 教學後心得：	
9.婦女腫瘤門診 跟診	評等： 病歷號： 診斷： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 教學後心得：	

## 學習前後自我評量

自我評等：A. 很熟悉 B. 部分熟悉 C. 不甚熟悉

	教學前評估	教學後自我評估	指導者 簽章
10. 子宮頸癌麻醉下檢查(EUA)暨近接治療	評等： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 教學後心得：	
11. 腦部腫瘤門診跟診	評等： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 教學後心得：	
12. 特殊治療(放射手術，攝護腺插針，手術中放射治療)	評等： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 教學後心得：	
13. Chart round 病例口頭報告	評等： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 教學後心得：	
14. 緩解性放射治療	評等： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 教學後心得：	
15. Journal Club 學術會議或各部位腫瘤團隊聯合會議, RTO 分組治療計畫討論會	評等： 病歷號： 診斷 原本想法：	評等： 教學後心得：	



附件五、雙向意見回饋表

雙向意見回饋表

長庚紀念醫院林口院區放射腫瘤科會議記錄

研討會名稱：雙向意見回饋
時間：       年       月       日       時       分
地點：質子中心 2 樓討論室
主持人：
主題：
出席者：
討論內容

科(部、系)主任：

紀錄：

附件六、放射腫瘤科訓練教學記錄表

放射腫瘤科 教學會議紀錄	
日期：	
地點：	
主席：	
紀錄：	
參與人員簽到：	
會 議 紀 錄	

主任：\_\_\_\_\_ 負責醫師：\_\_\_\_\_ 記錄：\_\_\_\_\_

附件七、放射腫瘤科實習醫學生教學回饋評核

放射腫瘤科實習醫學生教學回饋評核

指導教師姓名：\_\_\_\_\_ 受訓時間： 年 月 日

◎ 教學態度

1. 教師具教學熱忱

非常同意  同意  普通  不同意  很不同意

2. 教師能耐心指導學員

非常同意  同意  普通  不同意  很不同意

3. 教師會詳盡的指導學員

非常同意  同意  普通  不同意  很不同意

4. 教師指導學員時，能表達清楚、明白

非常同意  同意  普通  不同意  很不同意

5. 教師以 PBL-EBM 之精神教學

非常同意  同意  普通  不同意  很不同意

◎ 其他

11. 您認為臨床給予的指導，讓您在放射腫瘤的知識獲得進步

非常同意  同意  普通  不同意  很不同意

12. 您認為指導的教師能成為您的模範

非常同意  同意  普通  不同意  很不同意

13. 您認為教師在其領域的表現是

非常傑出  傑出  居中  較差  很差

14. 整體來說，相較過去曾指導您的教師，您對於此指導教師的評價為何？

非常滿意  滿意  普通  不滿意  很不滿意

15. 您認為在二週的訓練期中，有否尚待加強的課程？課程為何？

# 放射治療原則

洪志宏醫師

## 一、放射治療原理

三版：2014-05

### 前言

放射線的發現始於 1895 年倫琴發現 X-射線及 1898 年居禮夫婦發現同位素/鐳。在 X-射線發現的第二年就被運用於表淺腫瘤的治療，並陸續有根治的病例報告。在 19 世紀初期，鐳就已被廣泛的使用於子宮頸癌的體腔內照射，其後隨著更高能的同位素鈷 60 之發現及高能加速器的創造，體外放射線能穿透深部組織及涵蓋更大的範圍，以包括原發腫瘤及骨盆淋巴腺，因此能治療全身不同部位腫瘤。同時更安全的近接治療射源及機器也被發展出來，形成了今日在子宮頸癌、攝護腺癌及其他腫瘤體(腔)內照射的模式。

在介紹放射治療的知識之前，作者需強調高能放射線在許多癌症治療上是一個非常有效的利器，但反過來說也是一項毒性相當高的工具，稍一不慎即會造成副作用，因此一個好的放射腫瘤科醫師，必須充份的了解輻射生物學、輻射物理學、癌症的行為，解剖位置及經由影像、手術紀錄、病理報告、臨床檢查等，評估病人的侵犯程度及危險範圍，設計出最合適的治療照野、劑量及方式。台灣早期的放射治療在儀器設備及訓練上較不足，因此許多醫師及民眾都還對放射治療有許多不佳的印象，但今日的專業訓練與科技已使放射治療能以最少的副作用而得到相當高的治癒率。而放射腫瘤醫師與其他科醫師必須是一個合作密切的團隊，互相回饋治療成果，檢討副作用，才能經由治療經驗的累積，轉換成改進治療方法的動力，建立各醫院最適化的方法。

好的放射治療團隊之成員包括訓練有素的醫師、物理師、技術師、護理人員、儀器維護工程師等專業人員，再加上現代化的設備，才能得到好的治療成績。其中醫師是團隊的核心人物，負責醫療上所有重要的決策。物理師是負責機器與治療流程的品管，並與醫師共同進行治療計劃。技術師執行第一線的治療工作及每日的機器品管。其他人員依其專業則各有所司。

以下將就放射治療原理做逐步的介紹，由於本章節並非針對放射治療專科醫師，所以在內容上將儘量簡要，並符合臨床需求。

### 射源

一般醫療上的射源為 X-射線及 $\gamma$ -射線(伽瑪線)，兩者在本質上都是帶著能量的光子，沒

有質量也看不到，X-射線是將經加速過(帶著能量)的電子去撞擊一個鈹標(target)，此電子與鈹標作用後，所帶之部份能量會在原子核外會以 X-光形式釋出。而 $\gamma$ -射線則是同位素在衰變過程中，原子核內能量以光子形式釋出，一般所熟知的鐳、鈷-60、或銥等同位素即釋出 $\gamma$ -射線。因此兩者最重要之差別在於產生來源不同，而其本質與生物效應是一樣的。因此在本章節中除非特別註明，X-射線之作用皆適用於 $\gamma$ -射線。許多臨床使用之直線加速器，加速過後的電子可以不撞擊鈹標，而直接發出電子射線(electron beam)用於治療。電子射線的生物效應雖和 X-ray 一樣，但穿透力只有幾公分無法達到深部組織，因此只能用於治療表面病灶，如淺部淋巴腺、皮膚腫瘤等。

## X-射線與物質作用

### A. X-射線的特質

X-射線是帶能量的光子，但與一般紅外線，可見光與微波不同之處是其能量必須高於某一程度，可將原子核外之電子擊出原子核之電子軌道外，不再受原子核束縛，所以 X-射線是游離輻射(ionizing radiation)，這是其生物效應之最基本原理，不可不知。X-光以光速進行，因其所帶能量較可見光或紫外線高，故頻率高，波長較短，當其與人體作用時，其能量會被吸收。4 Gy (格雷)的全身照射能使一半的人在沒有醫療照顧下死亡，但此時人體所吸收的總能量，只能使其體溫上升小於  $0.01^{\circ}\text{C}$ ，可見 X-光造成組織與腫瘤的傷害，並非在於龐大能量的吸收(故非熱死或電死)，而在於其作用機轉為”游離輻射”(見以下說明)。

### B. 放射單位

現行的放射單位為格雷(Gray，簡寫 Gy)。每一格雷是指在 1 公斤質量吸收 1 焦耳的能量( $1\text{Gy} = 1\text{J/Kg}$ )，臨床上常用 Gy 或 cGy 來代表，1 Gy 等於 100 cGy。一般之放射治療每天給予 1.8-2 格雷(180-200 cGy)。

### C. X-射線之傷害原理

細胞核中的染色體是 x-射線造成細胞死亡或突變的主要標的。當身體中的原子與 X-射線作用後，核外電子被擊出而形成游離狀態。被打出的電子可直接與細胞核內的 DNA 作用，造成 DNA 斷裂，X-射線傷害之機轉有三分之一是由此直接電子作用產生，而另外三分之二傷害，則是由被 X-射線游離後的原子，經過生化反應，產生自由基(free radical)所間接造成，故自由基的形成是 X-射線造成 DNA 傷害的最重要中間介質(如圖一)。游離因自由基的核外電子未成對，是一種非常不穩定、化學性強的物質，它會與 DNA 作用，造成 DNA 斷裂。在身體內水分為主要成份(70%以上)，故水與 X-射線作用後所產生之 hydroxyl radical( $\cdot\text{OH}$ )為造成 DNA 傷害之主要自由基，這就是臨床上為何有用自由基解救劑(free radical scavenger)來減少放射引起正常器官傷害之原因。從 X-射線與身體作用，造成 DNA 斷裂其

間所需時間小於微秒，因此可說是瞬間發生。而一般臨床使用之 X-射線並不會活化身體的原子，產生具發射放射能力的同位素，因此病人在接受放射後並不會再從體內發出輻射線而影響他人，

#### D. DNA 的傷害與修補

人體一生中不斷遭受如宇宙線、背景輻射等之微劑量照射及許多環境中的有害物質對 DNA 的傷害，因此細胞對 DNA 的傷害有完整的修補機制。雙股的 DNA 中若有一股被電子或自由基打斷，則可以利用對側正常股做模板(Template)，進行完整的修復，所以單股 DNA 斷裂是不會造成細胞死亡。但若是雙股 DNA 皆有斷裂點，且距離極近，則形成所謂雙股斷裂(double strand break)，此時細胞雖仍可借用另一條染色體上之 DNA 做模板來修復(叫 homologous recombination)，但也常常進行尾端接合(end-to-end rejoining)。此種尾端接合較容易發生錯誤，引起染色體之異常(chromosome aberration)，造成細胞死亡或突變，因此放射線引起之 DNA 雙股斷裂數目多寡，與染色體之異常及細胞存活成正向之相關性。DNA 傷害的修補所需時間極短，通常在數十分鐘內就已修補了大半的傷害，因此 X-射線的生物效應與其劑量率(dose rate = dose/unit time)在某一範圍內具高度相關性。例如 2 Gy 分別在 5 分鐘與 1 小時給予，前者高劑量率(> 20 cGy/每分)之傷害將遠高於低劑量率之後者，高劑量率放射因在短時間內完成，故在先發生的單股 DNA 斷裂，因來不及修復，易和接著而來又距離近之對側單股 DNA 斷裂形成雙股斷裂。反之低劑量率在延長的照射時間中，前面所造成的單股 DNA 斷裂已修補完成，另一個新的單股斷裂也不會形成雙股斷裂。要達到相同效應，高劑量率所需劑量較比低劑量率低。在臨床上，相同放射劑量一次給予與多次給予，前者傷害大於後者，因在多次照射的間隔時間中，細胞已對 DNA 傷害做了修復，此種叫做次致死傷害之修復(sublethal damage repair)<sup>1</sup>。雖然 DNA 的傷害之修補所需時間短，但臨床實際結果顯示，兩次照射間隔小於 6 小時比大於 6 小時，會產生較大之副作用，這可能是除 DNA 傷害之修復外，還有其他修補的機制需較長時間，但其真正之機制並不清楚。臨床研究甚至顯示在中樞神經系統，有所謂的 slow repair 成分，修復所需時間可能比 6 小時更長。

#### E. X-射線傷害後之細胞死亡

細胞在 X-射線照射受傷後，其命運可以是：(1). 完全而正確的修復，細胞存活。(2). 不正確的修復造成基因突變，但細胞仍然存活，這是 X-射線致癌的原因之一。(3). 不正確的修復或無法修復，細胞死亡。細胞死亡的形式分為計劃性細胞死亡(programmed cell death, 或叫細胞凋零 apoptosis)或分裂時死亡(mitotic death)。計劃性細胞死亡可以發生在細胞週期中(inter-phase death)，淋巴球、造血細胞、精原細胞、小細胞癌等細胞型態易產生此類死亡，以低劑量(如每天治療劑量 1.8-2 格雷)照射就可引導，故此類腫瘤對放射線極

為敏感。而其他如血管內膜細胞、腸黏膜幹細胞及一般非血液腫瘤則需大劑量的照射才可引發計劃性細胞死亡。一般非血液腫瘤在低劑量(如每天治療劑量 1.8-2 格雷)之死亡主要是分裂時死亡,即無論在細胞週期的任何一點接受照射,都會進行到分裂期(M-phase)才死亡。許多細胞甚至可以進行 2-3 次細胞分裂後才死亡。

對於有分裂能力的細胞,放射線造成的死亡之定義為喪失形成菌落能力(loss of clonogenic ability)。細胞要形成一個菌落(colony),必須有能力分裂 6 次(即從單一細胞經分裂而達 64 個細胞)以上。因此縱使能分裂 2-3 次,或在型態、新陳代謝、功能都可以維持正常運作,只要其喪失繼續分裂以形成菌落能力,在放射治療就定義為死亡。對腫瘤細胞而言,可怕之處在於無窮繁殖的能力,只要喪失此能力就形同死亡。由於細胞在照射後,其在細胞週期內進行的速度會延緩,且甚至可以分裂數次才死亡,常需一段時間才會才組織中消失,因此不建議在放射治療結束後立即進行切片檢查,因為腫瘤細胞可能已經喪失形成菌落能力,但在顯微鏡下仍然呈現正常型態。除非腫瘤在追蹤期有再長大之趨勢(此時應立刻切片診斷,以免延誤進行解救性手術之時效),對於放射後持續或在消退的硬塊,一般建議在兩個月左右才進行切片檢查,方不致誤判,而進行不必要的解救性手術。

#### F. X-射線之存活曲線

由於 X-射線產生的游離現象之密度並不高,在細胞內是相當稀疏的分布,所以在低劑量時,大部份都是形成 DNA 單股斷裂,可以被完整修復,但隨著劑量增加,越來越多的單股斷裂會聚合形成雙股斷裂,造成細胞死亡,因此 X-射線在低劑量時殺死細胞之效率不如高劑量。在劑量與存活率的關係圖(即存活曲線),並非是直線關係,在低劑量呈現較平緩曲線,叫做肩線(shoulder region),而在較高劑量才呈現直線(linear region)關係。圖二所顯示的即是腫瘤細胞存活曲線,請注意縱座標存活率是採對數單位,而橫座標劑量是採用直線單位。這代表放射線殺死細胞,是用等比例而非等量殺死。即若 2 Gy 之存活率為 0.5 (即殺死一半細胞),則 2 Gy 給 2 次之存活率為 0.25 ( $0.5 \times 0.5$ ), 6 Gy 給 3 次為 0.125 ( $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ ), 依此類推。一般而言臨床上所用 1.8-2 Gy 劑量是在肩線區,而非在直線區。但有些遺傳性疾病如 ataxia-telangiectasia mutant(ATM)之病人,其 DNA 修補路徑的信號傳導出了問題,無法正常修補 X-射線造成之 DNA 傷害。此病人對於放射線極度敏感,約為正常人之 2.5-3 倍,而其細胞存活曲線並無肩線,完全為直線。臨床上此類病人放射治療時需減量。

#### X-射線造成之組織與腫瘤傷害

##### A. 組織反應

X-射線造成 DNA 斷裂所需時間小於微秒,但生物體之器官反應則有潛伏期。在局部接受

X-射線照射後，人類之器官反應可分成急性反應組織(acute responding tissue)及晚期反應組織(late responding tissue)。例如骨盆腔之放射治療產生治療中腹瀉、白血球下降等，而其他部位照射產生如口腔潰瘍、皮膚紅甚至破皮等，這些通常發生於治療中或治療後之數週內，其反應為可逆性，在治療數週後即會恢復。而如放射後之直腸出血、膀胱炎、組織纖維化等，則發生於數月或甚至數年後，為晚期反應，通常為不可逆性。

(a). 急性反應組織：前面提到大放射引致的細胞死亡為計劃性細胞死亡(programmed cell death)及分裂時死亡(mitotic death)，因此急性反應組織通常與身體內較常進行分裂的細胞有關，如骨髓、腸黏膜、口腔及皮膚上皮等。而其發生時間亦與這些細胞轉換率(turn-over rate)有關。例如小腸黏膜之細胞在3-5天內會全部更新一次，因此其反應會較早出現，而在休息後之生長也快。而皮膚則需等上層已分化、不具分裂能力之角質化細胞(不受放射影響)隨生理現象自然脫落，而底層之上皮幹細胞受到放射傷害，無法補充才會顯示反應。因此其反應須大約2-3週才發生。

在照射後如腦、肺、肝等器官在數小時內就會產生發炎反應之細胞激素(inflammatory cytokine)<sup>2-4</sup>，並增加黏合分子(adhesion molecules)<sup>2, 5, 6</sup>之表達，這些分子會引起組織發炎反應，引起血管通透性之增加及組織水腫。在腫瘤轉移引起腦部顱內壓上昇、脊髓壓迫、上腔靜脈壓迫等症狀需放射治療時，須先給類固醇，以免因放射引起之組織水腫而加重症狀<sup>4</sup>。此類固醇須持續至腫瘤縮小，壓迫症狀減輕後才逐步減量。但在一般情況下照射，則不須先給類固醇。

雖然急性反應會恢復，且在一般情況下與晚期反應未必有相關，但太嚴重的急性反應卻也可能加重晚期晚期傷害。例如在治療時若皮膚反應太厲害造成整片的皮膚皆脫落，有如重度燙傷或挫傷，則其將來皮膚亦產生微血管擴張(telangiectasia)及纖維化(fibrosis)。亦有研究顯示在子宮頸癌病人在放射治療時的腸道反應嚴重度和其將來產生晚期放射腸炎有相關性<sup>7</sup>。而放射治療的總療程無法縮的太短(例如小於5週)，主要也是受限於病人無法承受太嚴重之急性反應。決定急性反應之主要因素在於放射總劑量(越高反應越強)、療程總時間(越短反應越強)、組織特異性，而每次的放射劑量雖有影響，但並非主要因素。大多腫瘤為快速分裂之細胞，其行為被視為與急性反應組織較類似(見下說明)。

(b). 晚期反應組織：一般為分裂較慢之細胞如血管內膜細胞、肌肉細胞、間質細胞等參與，這些細胞平常很少分裂，且細胞週期長，因此其顯示傷害時間較晚，所以放射後之血管病變、纖維化都需長時間才發生。但晚期反應發生之機制並非如此單純，它就像組織受到其他傷害而進行修復的過程一樣，牽涉到細胞死亡、發炎反應、修補系統啟動、血管病變等步驟<sup>8-10</sup>，一般性之傷害大都是短暫性，而放射傷害由於參與細胞之死亡可陸續發生，因此



常維持一段相當長的時間。從分子的層次來看，許多組織在大劑量照射後，其發炎反應細胞激素就一直持續性的增加<sup>11-13</sup>，顯示發炎反應在晚期副作用上扮演相當角色。

晚期反應組織是放射治療中最重要的考慮因素，因為其大多為不可逆性，可以相當嚴重、且無特別有效之治療方法。幸運的是晚期反應組織在劑量與存活率的關係上與急性反應組織不同，其在低劑量肩線區(shoulder region)之斜率較小(曲線較平坦)，反之在較高劑量之直線區(linear region)之斜率較急性反應組織大<sup>14</sup>(如圖 3)。因此每天給予如 1.8-2 Gy 之低劑量照射，則急性反應組織(腫瘤)之殺傷較晚期反應組織為大，而經過 30-40 次的低劑量照射，這種每次小量的差異就被不斷重覆放大。舉例來說，若晚期反應組織每次被保護 5%(即存活率為急性反應組織之 0.95，則經 40 次照射後(請注意縱座標存活率為對數單位)，則存活率為急性反應組織之  $(0.95)^{40}$ )<sup>40</sup>，因此分次治療可以達到傷害急性反應組織(或腫瘤)，而達到保護晚期反應組織之目的，這說明了為何大多數的放射治療是採用分次治療，而非一次大劑量照射。反之，當每次給予的劑量越大則對晚期反應組織之傷害越大。通常只有在疏緩性(palliation)治療時才會給予每次超過 2 Gy 的劑量，因為此時治療目的不在根治，給予的總劑量通常不會太高，會限制在正常組織容許範圍。但也有例外情形，如利用放射手術治療腦瘤、肝或肺癌之照射或近接治療，這些情況通常是照射範圍小，可用特殊放射技術來保護週邊正常組織，或是腫瘤生長部位可以完全被破壞而不會影響全器官功能。由於晚期反應組織之細胞分裂較慢，在合理的臨床治療總時間範圍(如 10 週)內，拉長療程並不會減少其發生之機會，因此延長治療總時間，無利於晚期副作用之減少，只有利減少急性反應及使腫瘤時間再生長。

總言之，決定晚期反應之主要因素在於放射總劑量(越高副作用越大)、每次的放射劑量(每次劑量越高副作用越大)、組織特異性，療程總時間之影響極微。就組織特異性而言，不同器官因成分不同，對放射敏感度差異極大。在臨床分次治療，在 2-3 Gy 範圍，就有可能影響卵巢功能及生育能力，而眼球之晶體在單一劑量 2 Gy 以上就可造成白內障，全肺及全腎臟照射一般小於 20 Gy，全肝照射(對於非慢性肝炎或硬化患者)小於 30-33 Gy，小腸、脊髓、全腦小於 45 Gy，大腸小於 60 Gy，而子宮頸可承受極高(近 100 Gy)。雖有此劑量限制，但臨床上會依腫瘤控制率及副作用之可接受度來考慮。例如脊髓或中樞神經壞死、全肺或兩側全腎臟受損為致死或絕對不可接受之副作用，無論在任何情形下應避免。而如直腸傷害，對於早期子宮頸癌病人其治癒率通常不是問題，因此對於反應佳之病人可考慮減少體外照射劑量以減少直腸傷害。反之晚期子宮頸癌病人其局部控制率不甚令人滿意，而腫瘤復發之代價通常為生命喪失或嚴重之器官功能受損(如全骨盆腔器官摘除)，合理範圍的提高放射劑量縱使可能會造成如 3-5%病人因嚴重放射直腸傷害而需接受人工造口，亦並非不可接受。放

射的嚴重副作用並非截然不可接受，需依副作用形式、機率及腫瘤嚴重度及其控制率而定。而非因病情需要，或因疏忽所造成的嚴重副作用則是在任何情形下皆不可接受的。

## B. 腫瘤反應

### (a). 4R

放射生物中有重要的 4 個現象：修補(repair)；再氧化(reoxygenation)；再生(repopulation)；再分佈(reassortment)；統稱 4R。

1. 修補次致死傷害(repair of sublethal damage)：次致死傷害之修復(sublethal damage repair)已在上面提及，發生於分次照射之間隔時間。DNA 的受傷(如單股斷裂)會修復。

2. 再氧化(reoxygenation)：缺氧細胞對放射抵抗力(radioresistance)約為不缺氧細胞的 3 倍，也就是要 3 倍的劑量才能達到相同效果，而超過 100 微米( $\mu\text{m}$ )大小的腫瘤就有缺氧細胞。常可看到大的腫瘤產生中央壞死(necrosis)的現象，這些壞死區域周圍的腫瘤細胞通常是缺氧，一般認為缺氧是造成放射治療失敗的主要原因之一。在分次治療中，腫瘤邊緣的 氧細胞因對放射較敏感，所以會先被殺死，氧氣因此能到達中央的缺氧細胞，形成再氧化，使得原本缺氧細胞在下次照射時變成有氧細胞，有利於腫瘤控制。

3. 再生(repopulation)：腫瘤在分次放射之療程中，存活的細胞可繼續分裂，發生再生(repopulation)現象，除非增加劑量，否則放射治癒率下降。但增加劑量會增加副作用發生之機會。臨床研究顯示在子宮頸癌病人，治癒時間超過 4 週後，每增加 1 天，須增加 0.6 Gy 來彌補<sup>15</sup>。因此在病人急性反應可以承受的範圍內，治療時間越短越好。

4. 細胞在細胞週期內再分佈(reassortment of cells within cell cycle)：細胞週期分成 G<sub>0</sub>, G<sub>1</sub>, S 及 G<sub>2</sub> 象限(phase)，在不同象限之放射敏感度不同，通常在 late S 及 early G<sub>1</sub> 之放射抵抗力(radioresistance)最強，而在 M 及 G<sub>2</sub> 則最敏感。在分次放射之療程中，在敏感象限之腫瘤細胞會先被殺死，而在不敏感象限之細胞較會存活，這些細胞會繼續在細胞週期內前進，而在下次照射時就又分佈於週期中不同象限，如此使原本具放射抵抗力之(如在 late S)細胞不會持續在不敏感象限，此現象叫再分佈(reassortment)，有利於腫瘤控制。

(b). 腫瘤之反應：由於通常腫瘤為快速分裂細胞，因此其行為被視同急性反應組織。而以 4R 的觀點來看分次治療對腫瘤影響，已在上面討論。但其反應遠比此複雜。不同腫瘤之內在放射敏感度(intrinsic radiosensitivity)亦有異，最敏感者為淋巴瘤、精原細胞瘤、小細胞癌等，而惡性腦瘤、黑色素瘤等則為放射不敏感。以子宮頸癌為例，台灣的資料顯示在子宮頸癌，同臨床分期的腺癌對放射治療的反應比鱗狀上皮癌差<sup>16, 17</sup>。這些差異除了來自於腫瘤細胞本身的內在放射敏感度不同，也可能來自於腫瘤的微環境之差異。例如有些腫瘤

細胞在放射後，會分泌細胞激素，形成自體(autocrine)或周邊(paracrine)分泌刺激作用，來促進存活下來的腫瘤細胞之生長。最新的研究顯示放射對於腫瘤之傷害，不祇限於腫瘤細胞，在高劑量照射時，腫瘤血管的內膜細胞亦會產生計劃性細胞死亡(apoptosis)，使得血管受損，進而造成其供應之腫瘤細胞死亡<sup>18</sup>。因此現在有主張應將視為腫瘤為一不受正常機制調控的器官，治療不只是考慮針對腫瘤細胞之殺傷，對於腫瘤血管、間質細胞、發炎細胞之反應及傷害等皆應列入考慮。

### 輻射生物之臨床運用

綜合以上之重點，臨床上為了保護晚期反應組織，大多數的放射治療採用分次照射，兩次照射之間至少間隔 6 小時。但為了防止腫瘤的再生長，治療總時間要在病人可承受範圍內越短越好，避免不必要的休息。放射治療由於有百年以上的臨床經驗，因此建立了傳統的分次治療模式，但隨著輻射生物之了解，也發展出其他分次方法，說明如下：

(a). 傳統的分次放射(Conventional fractionation radiotherapy)：每週治療 5 天，每天一次，每次 1.8-2 Gy。對於一般如鱗狀上皮癌、腺癌等腫瘤，若可以用臨床檢查或影像偵測的到之實體腫瘤(solid tumor)，除非受限於正常組織之忍受力，否則一般須給予至少 60-70 Gy 以上之劑量。對於可能產生顯微轉移之地方(如影像上正常之骨盆腔淋巴腺)，給予 44 - 60 Gy 之劑量。

(b). 加速治療(accelerated fractionation radiotherapy)：每次治療劑量仍變 1.8-2 Gy，但一週治療超過 5 次，總治療時間縮短(例如從 7 週縮至 5 週)。其方法可以是除週一至週五治療外，週六、日亦治療，或每天治療多於一次，但每次間隔大於 6 小時。此方法之目的在於減少腫瘤細胞在療程中再生，但急性反應組織之忍受力為此方法之限制。

(c). 超次治療(hyperfractionated radiotherapy)：每次治療劑量為 1.15-1.2 Gy，增加治療次數，但總治療時間不變。由於上文曾提到每次治療劑量減小可以保護晚期反應組織，因此若每次劑量減小，則可增加總劑量進而增加腫瘤控制率，而又維持相同的晚期副作用機率。由於總劑量增加而每次治療劑量減小，治療次數自然增加。為了不延長總治療時間，通常會給予每日二次或以上之治療。

(d). 加速超次治療(accelerated hyperfractionation radiotherapy)：此為 2 及 3 的混合體，一週治療超過 5 次，部份或全部療程之每次劑量小於 1.8 Gy，總治療時間縮短。此方法原則上以縮短治療總時間為目的，為目前除傳統的分次放射外最常用的方法。但在骨盆腔治療，因會照射到大量之腸道，而腸道上皮細胞分裂極快，現又常合併化學治療，仍故以傳統的分次放射為主。

## 二、放射治療的方法

## 體外照射

### A. 照會：

一個經嚴謹訓練的放射治療醫師，在初次照會時，不但會作適當的理學檢查，並且會對病人的整體身體狀況、臨床症狀、腫瘤指數、影像檢查、開刀記錄、病理報告(包括侵犯深度、淋巴腺轉移等)做詳細的研讀與評估，在此時就會根據各醫院所制定的標準治療指引訂下治療計畫。但病人若有特殊考量，如年老、合併重度內科疾病、體弱等，則可依其狀況給予適當調整。

### B. 模具製作、模擬攝影(Simulation) 屏障(Block)製作：

放射治療剛開始大多為大範圍的放射，如子宮頸癌病人之全骨盆腔，若醫師都留下適當的安全距離，則對於製作模具的需求較低。但若要減少安全距離以減少傷害或運用三度空間順形(3-D conformal radiotherapy, 3-D CRT)、強度調控放射治療(Intensity-modulated radiotherapy, IMRT) 做小範圍追加放射時，就一定需要製作身體固定器(body mold) 以增加精確度。在頭頸治療時病人需要接受面具(cast)製作以固定其頭部姿勢。

病人治療前要接受模擬攝影(simulation)。由於直線加速器發出之 X-射線的源頭趨近於點射源，因此 X-射線像單點光源一樣為散射(Divergent)，距離越遠，散射的角度也越廣，治療範圍越大，但每單位劑量越低。這就如在黑暗中離發光燈泡越遠，光的涵蓋面越大但光越弱。為了確保治療之精確度，每台機器的射源與病人治療範圍的中心點及保護正常組織所用的鉛屏障(block)都有一定的距離。模擬攝影的目的就是在於模擬治療時直線加速器所有的這些參數來取影像、在病人體表標示中心線、界定病人要治療的範圍、設計治療形狀。以前由傳統 X-光模擬攝影機執行，但其影像為平面，不能看到內部腫瘤及正常器官位置，在精確度上較差，也不能針對病人的個體差異來做調整。現在則都以電腦斷層模擬攝影機。如圖四，病人接受電腦斷層後，電腦軟體會重建其三度空間影像，放射腫瘤醫師可以清楚的看到放射的範圍與腫瘤位置及正常組織的相對關係，增加治療的準確度。對於如全骨盆腔的照射，醫師獨立就可以在電腦上完成治療範圍與射線角度。但是對於較複雜的治療計劃(如 3-D CRT 或 IMRT)時，醫師就把腫瘤及正常器官位置畫在電腦斷層上，並且定下治療參數，交給物理師進行治療計劃。當醫師將治療範圍界定後，必須製作屏障(block)來保護不需要照射的正常器官。過去屏障大都由技術師利用合鉛合金製作，外加在治療機上。現在則由直線加速器所內附的多葉準直儀(multi-leaf collimator)直接做出治療形狀，而不需要外加屏障。

在單純全骨盆腔照射時，通常選擇的照射角度為前後(AP/PA)或前後加上而且兩側照野(AP/AP + bilateral; 又叫 box field)。前後照野可以避免照射到股骨頭及兩旁的骨盆腔

腸骨。兩側照野可以避免照射到一大部分之小腸，特別是對於肥胖的病人其效果更顯著。因此藉由前後及照野兩側，可以降低這些重要器官的劑量，降低副作用。Box field 在以前是全骨盆腔照射之標準照野。但台灣有些婦女病人非常身材瘦小，使用兩側照野並不能有效保護小腸，此時只須使用能量較高的直線加速器進行前後照野即可。現在亦有一開始就採用多照野之強度調控放射治療。

### C. 治療計畫(Treatment planing)

在較單純的治療照射，醫師把治療角度、照野形狀、及每日治療劑量決定後，就交給物理師計算治療所需的參數。而對於複雜的治療，醫師則需在治療計畫影像上對腫瘤治療範圍作以下定義：

Gross Tumor Volume (GTV)：凡是在影像上可以看到的腫瘤包括淋巴腺都將其標示出來。以未手術之 IB 子宮頸癌為例，其 GTV 就是在影像上所呈現的原發腫瘤大小。若有淋巴腺轉移，亦包入 GTV。手術後之病人已無可見之腫瘤，故無 GTV。

Clinical Target Volume (CTV)：凡是在臨床上依腫瘤的自然行為判斷，最可能會侵犯或顯微轉移的地方都包在治療範圍內，就叫做 CTV。以影像檢查未顯示有淋巴腺轉移之未手術 IB 子宮頸癌為例，骨盆腔淋巴腺及子宮頸附近組織(如 parametria，部份陰道、子宮體等)都仍包在治療範圍內，這就是 CTV。

Planning Target Volume(PTV)：界定好 CTV，這時候就要考慮到下面幾項因素。(1). 身體內部器官或腫瘤每天的位置會有某種程度的位移。例如子宮頸、攝護腺的位置會受到膀胱及直腸的脹縮而影響。一般而言在頭頸部較無這個問題。(2)在同一治療中，部份器官或腫瘤的位置也會受到呼吸的影響而移動，特別是在肺部、肝臟、上腹部器官等特別明顯。(3)由於技術師每天對位是以病人身上的線為準，因此多少會受到病人位置、皮膚皺摺而有輕微改變。以上因素會因器官位置而有不同考慮，而在 CTV 外再加適當的安全距離而變成 PTV。但現行許多的直線加速器具有影像導引(Image-guided)功能，即在每天治療前，除了以病人身上的線對位外，並以兩個 90 度夾角 X-光 (如 AP 和 lateral) 攝影或錐狀射束電腦斷層 (cone-beam CT) 取像，以骨頭、金屬標記(fiducial marker)、或組織定位。如此可減少以上(1)及(3)的問題，減少 PTV 和 CTV 間之差異。至於呼吸造成器官移動的影響，可使用呼吸調控治療(例如在吐氣時才治療)，或腹部壓縮器緊壓腹部以減少呼吸幅度。

放射照野之設計，主要是依上面三個層次在考量。如圖四以 Ib 或更高期之子宮頸癌為例，由於必須考慮骨盆腔淋巴腺轉移之機會，在剛開始大照野治療時，除了子宮頸及鄰近組織外，會涵蓋全骨盆腔淋巴腺。淋巴腺通常跟著主要血管，從解剖位置考量，主動脈在第 4 腰椎下緣分成左右總腸骨動脈，在薦腸關節(sacro-iliac joint)下緣再分出內外腸骨動脈，外腸

骨動脈沿著骨盆腔外側向前走，內腸骨動脈向後走。有了解剖概念，再考慮骨盆腔之固定及每天姿勢再現性無法像頭頸部能維持在 5 毫米範圍內，因此要留 1 公分的安全距離（也就是 CTV 和 PTV 之差異）。病人若有總腸骨或主動脈旁淋巴轉移，則治療範圍應延伸到主動脈旁淋巴腺，通常涵蓋到第十二節胸椎下緣。但主動脈旁淋巴腺轉移位置若已高到第 1-2 節腰椎，則需考慮將範圍延伸第十節胸椎下緣，以涵蓋完整的主動脈旁淋巴腺。

對於複雜的治療計劃，醫師需把以上 3 個範圍在電腦斷層影像設定好之後，再把所需要考慮的重要參數例如哪些正常器官要優先保護、容許被高劑量照射的器官體積有多少、每一天 CTV 或 PTV 要給多少劑量等制定好，交給物理師進行治療計劃。當完成後，醫師和物理師會一起看治療計畫所得到的參數圖形是否符合醫師的需要，並覽閱每一切面之劑量分佈圖找出是否有不符合需要之處。若治療計劃未能達到醫師要求，則必須請物理師再重新一次，直到滿意為止。

#### D. 治療及治療前驗證片(Verification film)及影像導引(Image-guided)

台灣現在只有非常少量的鈷-60 機器，且不使用於日常之治療。所有醫院之治療機器都是直線加速器，能量在 4-15 MV。以台灣婦女骨盆厚度普遍都小於歐美病人，10-15 MV 應該是合適的選擇。但能量越高，輻射防護的問題就越困難，因此一般是以 10 MV X-射線來治療骨盆腔。

病人第一次在直線加速器治療室內，技術師會按照實際治療時所有的參數設定病人，然後照驗證片。驗證片上會呈現病人的中心線位置、治療照野，經由醫師確認正確後，隔日才開始治療。放射治療的驗證片，是由 MV 能量(非診斷之 KV) 的 X-射線所取像。由於物理作用的差異，診斷之 KV 能量 X-射線的吸收和物質之原子序三次方成正比，因此在骨頭和組織間可以呈現強烈對比，反之，治療之 MV 能量 X-射線之吸收和物質原子序無關，差異性之形成只靠物質之密度，對比不確烈，在辨識上需花較多時間。在治療中也會定期的照驗證片，以確定病人身上之定位線及治療設立皆正確。任何改變治療照野時，皆應取驗證片以免發生錯誤。現在新型的治療機器，常具有電腦斷層或雙角度影像(或兩者皆有)之導航定位技術。每天治療前皆取像並以骨頭、標記或器官定位，可以達到非常精準之程度，也不需治療中之驗證片

#### (E). 治療中評估

在療程中病人每週須至少接受醫師評估一次，除處理病人治療中之急性反應及評估腫瘤消退情形外，更重要的是檢查治療記錄及進度，確認病人每次的劑量及總劑量是否照原定計劃進行，並檢查病人是否產生新的症狀(如轉移、白血球過低等)，而需要改變治療計劃。

#### (b). 近接治療

## A. 定義

使用直線加速器治療，由於不和病人身體接觸，因此叫做遠隔治療(teletherapy)。而把射源放在體腔或組織內，在近距離給予放射治療，叫近接治療(brachytherapy)。Brachy-在希臘文裏是”近距離”的意思。

## B. 使用原理

對單一點射源而言，不同距離所接受的放射強度和距離平方成反比，叫反距離平方定律(Inverse-square law)。舉例來講，某一射源在距離 1 公分的地方之劑量為 1，則在 2 及 3 公分的地方之劑量分別為 $(1/2)^2$ 及 $(1/3)^2$ 。劑量在很短的距離內快速的下降，是近接治療的特性。因此在中間會造成很高的劑量，而旁邊組織劑量可大幅下降。由於近接治療的劑量在組織內變化快，若用於大的腫瘤，除了在技術上不容易涵蓋整個腫瘤，也可能因為了包含腫瘤邊緣，而造成中間劑量太高，引起組織壞死造成副作用。近接治療通常應用於較小之腫瘤，或用於體外照射腫瘤縮小後之追加(boost)治療。在子宮頸癌治療，若腫瘤在 40-50 Gy 之體外照射後，體積仍大(例如 > 4 公分)，則須謹慎評估近接治療之高劑量區是否可涵蓋整個腫瘤<sup>19, 20</sup>。在攝護腺癌之組織插種，若攝護腺太大，同樣亦不適合。

## C. 射源及設備

最早使用於子宮頸的近接治療之射源為鐳(Ra-226)，但因其衰變的子產部分物中，會產生有放射線的氣體，在放射防護上造成困擾，現已不用。現在全台灣所使用的射源幾乎都是銥(Ir-192)。此射源發出的 $\gamma$ -射線之平均能量為 0.397 MV，比鈷-60 等其他射源低，在放射防護上較方便。由於其半衰期為 74 天，因此每隔 3 到 4 個月要換一次射源。

早期的放射治療或婦癌科醫師，需親自將射源(如鐳錠)放入及拿出病人體內，因此會遭受輻射曝露。現在則是醫師先將射源要進入的管腔安裝好，再將病人推入一符合輻射防護要求的治療室內，醫師再將機器上射源通路管線與管腔連接後，離開房間起動機器後才開始治療。射源會隨著電腦程式所設定之位置及停留時間運作。治療後即拆除管腔讓病人離院。整個過程中醫護人員完全不須與射源在同一房間內，完全沒有輻射曝露。這樣的設備叫做遠隔控制後荷式(remote-control afterloading)治療機。

在攝護腺癌之組織插種，則是在超音波導引下，以長針(金屬或塑膠)從會陰插入，然後電腦斷層取像。在醫師畫出攝護腺、膀胱、直腸後，經物理師做完計劃才治療。

## D. 高劑量率 vs. 低劑量率

高劑量率定義是每小時給予超過 12 Gy 的劑量，低劑量率則是每小時給予 0.4-2 Gy 的劑量。在前一章節曾提到低劑量率可以保護晚期反應正常組織，減少副作用。早期的近接治療，大多是採低劑量率，病人必須住院 1-2 次，每次躺 24-72 小時。在美國現狀還是以低劑量率

為子宮頸來之主要近接治療方法。由於低劑量率在病人照顧、防止工作人員輻射暴露上較不易，美國有越來越多的醫院採用高劑量率近接治療，而台灣所有醫院都採用此方法，一般高劑量率近接治療在門診執行，分成 3-7 次，在 2-4 週完成。每次在 A 點給予 4-7 Gy，治療時間約 10-30 分鐘。在第一次治療前，通常會進行麻醉下檢查，並將子宮頸擴張以減緩第 2 次後安裝器械之不適。由於不同醫院對於高劑量率近接治療的次數、每次劑量、給與時間及體外照射劑量(必須與近接治療劑量合併考量)皆不相同，不易轉換彼此所使用之劑量。

在攝護腺癌之組織插種，台灣目前是採用高劑量率的暫時插種。在美國對於早期攝護腺癌，可用低劑量率的永久插種。

#### E. 近接治療於婦癌之應用

最常使用於婦癌的近接治療有(1). 體腔內近接治療(Intracavity brachytherapy)。(2). 陰道內近接治療(Intravaginal brachytherapy)。(3). 組織間插種 (Interstitial implantation)。

(1). 體腔內近接治療(Intracavity brachytherapy)：應用子宮頸癌，是近接治療最成功的例子。根據美國 Patterns of care 的研究顯示使用體腔內近接治療明顯提升子宮頸的治癒率<sup>21</sup>。通常近接治療是在體外照射 4-5 週左右才給與，其目的是在使腫瘤縮小後，高劑量區域能包含整個殘餘腫瘤，但也有少數醫院在治療開始後兩週即施行。子宮腔近接治療有幾種不同器械設計。如圖五主要是放入子宮腔的 tandem 及放在陰道頂兩側之 ovoids。若只有 tandem，則劑量分佈會呈現柱狀，只能涵藍子宮頸中央，射源進入兩側的 ovoids 可將劑量分佈向兩旁拉出像梨子形狀以涵蓋子宮頸及兩側子宮頸旁組織(parametrium)。由於近接治療的劑量分佈在每一距離皆不相同(如地形圖之等高線分佈)，因此必須有共同的參考點做為醫院與系統間之比較依據。公認之參考點為 point A，它的位置是在子宮頸向上兩公分及側方兩公分之交界處，在解剖學此點約為子宮血管橫越輸尿管之處。舉例來講，當我們說每次給 5 Gy 時，此劑量是給在 point A，在 point A 以內的距離，共劑量皆高於 5 Gy，反之越遠離 point A，劑量越低。在進行近接治療之計劃時，亦會放適當之標誌在膀胱及直腸內，以估算此兩器官之劑量，在必要時可作適當之劑量調節。

(2). 陰道內近接治療(Intravaginal brachytherapy)：對於手術後之子宮頸癌及子宮內膜癌病人，為了增加陰道縫合處及陰道內膜的劑量，常會再給予陰道內近接治療。由於預定治療的目標表淺且陰道與直腸間隔非常小，故劑量參考點常定在陰道內膜下 5 毫米。陰道內近接治療劑量必須與體外照射劑量合併考量，非必要時總劑量最好不要超過 56-60 Gy，以免引起直腸出血現象，增加副作用。由於陰道內近接治療的有效範圍非常小，當仍有明顯腫瘤且其厚度從陰道內膜表面計算已超過參考點時，此時直腸內膜離射源之距離可能已小於腫瘤



厚度，繼續使用陰道內近接治療無法達到腫瘤劑量高於正常組織劑量之原始目的，必須小心使用。

(3). 組織間插種 (Interstitial implantation)：將管腔直接植入病人腫瘤內，再讓射源依電腦計劃設定的位置及時間停留在管腔內。攝護腺癌、頭頸癌、婦癌等皆可使用。

### 三、放射治療後副作用的處理

#### 1. 骨盆腔之照射

##### 急性反應

放射治療中的急性反應，在治療開始後第 2-3 週才發生，在 3-5 週會達到最高點，然後慢慢減輕，主要的症狀有下列幾種

- A. 大腸、直腸反應：病人在第 2-3 週左右，會開始產生大便次數增加、解不乾淨、裏急後重的感覺，更嚴重的會造成腹瀉、水樣大便。此時常伴隨著肛門痛，痔瘡症狀明顯，甚至肛門流血或大便帶血。此時可使用 Loperamide 來減少大便次數及止瀉，用 Proctosedyl (hydrocortisone + dibucaine) 藥膏及栓劑來減輕肛門症狀，並給予輕微止痛劑。通常在第 5 週治療範圍從全骨盆腔照射縮小至原發腫瘤時，症狀就會逐漸改善。
- B. 腸胃反應：當治療範圍延伸至主動脈旁淋巴腺時，一部份小腸及少部份胃包含在治療範圍內，病人易產生上腹部不舒服、食慾不振、噁心、想吐之症狀。這些症狀在合併化學治療之病人特別嚴重。除了可以給予止吐、促進胃口之藥物外，也可考慮在第 3 週後，先進行 3-5 天的小範圍追加治療，使上腹部能得到休息，不致讓病人因反應過於強烈，而必須中斷治療。在手術後之病人，較會有腸絞痛之現象，可以給予藥物減緩其腸蠕動。
- C. 泌尿系統：在治療中部份病人之小便頻率可能增加，且會尿急。若有發生血尿或嚴重解尿不順及疼痛情形，應做尿液檢查以排除尿道感染之可能性，此現象尤其常見於手術後排尿不順之病人。攝護腺癌病人偶會有(但機會極低)治療中無法排尿需用尿管之現象。
- D. 皮膚反應：肚子皮膚一般應沒有嚴重之反應。但若腫瘤已犯下三分之一陰道或外陰道腫瘤，治療範圍常需包含外陰部，此時在第 3-4 週，病人外陰部及大小陰唇會有潰爛現象，造成極度不適與痛苦。此時除給予 Neo-cortisone 藥膏及止痛劑外，可告訴病人在大小便後以水沖洗乾淨，並將其擦乾，在家中應穿寬鬆之內褲。部份病人也可能在股溝處產生破皮，給予 Neo-cortisone 藥膏即可有效處理。
- E. 血球降低：當合併化學治療時，在第 2 週後須注意病人血小板及白血球。特別是對於治療範圍延伸至主動脈旁淋巴腺之病人在第 4-5 週時，常會發生嚴重的血球不足，以致須暫停治療或延後近接治療的時間。

##### 晚期副作用

放射治療中的晚期副作用，在治療開始後數月或數年才發生，在骨盆腔放射治療的主要的症狀有下列幾種

- A. 直腸出血：這是骨盆腔放射治療最常見的副作用，與劑量有密切關係。若將直腸劑量控制在 56-60 Gy 以下，則極少發生。發生時間通常在治療後半年至 1 年半間。輕微者持續數

個月即自然稍失。嚴重者可持續數年，並在減緩後仍會偶而發生。若在不解大便之情形仍有鮮血流出，則屬嚴重。通常最嚴重之流血處在於子宮頸正後方之附近，為近接治療高劑量區。在直腸鏡檢查通常會看到腸壁纖維化、微血管擴張、點狀出血。嚴重者需考慮接受腸造口。一般會建議病人不要有便秘或是腹部用力。急性期可嘗試給予 Cort enema，但個人之經驗效果有限。

B. 膀胱出血：放射線引起之膀胱炎發生時間較直腸炎為晚，甚至可在治療 4-5 年後才發生。通常是暫時性的出血，膀胱鏡檢查會看到局部纖維化及微血管擴張，必要時可請泌尿科醫師給予局部燒灼。

C. 瘻管發生：若放射劑量超過組織忍受度過高，易造成組織壞死，形成瘻管。特別是在放射後再接受手術者，發生瘻管機會更高。常見的瘻管包括膀胱-陰道，直腸-陰道，小腸-陰道等。由於通常為組織壞死造成，無法做局部縫合，常必須用切除或造口解決。

D. 腸沾黏：放射治療後之腸沾黏，很少發生於未有腹部開刀記錄者。手術後放射治療約有 10-24% 發生腸沾黏<sup>22</sup>，但大多數只需保守性治療，約有 2-8% 病人需手術矯正。手術後放射治療之腸沾黏，發生的機率和照射範圍的大小(全骨盆腔 vs. 下半骨盆腔)有關聯，照野設計時應儘量減少小腸照射體積。

E. 淋巴水腫：接受完整淋巴腺摘除手術再放射治療之病人，高達 30% 機會發生腿之淋巴水腫<sup>22</sup>。通常在早上起床時較輕微，但隨著坐及站立的時間越來越久，在下午及傍晚時就會更厲害。一般會建議病人在早晨起床後使用束襪，並在家裏休息時將腿舉高。淋巴腺腫發生的機會和放射治療劑量有直接相關，大於與小於 50.4 Gy 有明顯差異。

F. 股骨頭壞死：是常發生須治療腹股溝淋巴腺之病人。當股骨頭及頸之放射劑量大於 45 Gy 時，發生股骨頭股骨頭之機會就大為增加。

G. 陰道沾黏：放射治療後沒有性生活的病人，易產生陰道沾黏。建議病人在放射治療後 2-3 週起可以開始正常性生活。對於沒有性生活者，建議定期使用陰道圓柱擴張器(vaginal cylinder)預防止沾黏。

#### 四、質子放射治療

1946 年羅伯威爾森博士(Dr. Robert Wilson)在放射學期刊首度提出運用質子與重粒子於放射治療的觀念。1954 年加州大學柏克萊分校的勞倫斯醫師領導下，首度用質子及重粒子射線治療腦下垂體腫瘤並獲得成功。美國哈佛大學及世界其他研究中心因此陸續採用研究用的質子加速器治療腦瘤、顱底瘤、眼黑色素瘤等腫瘤，治療了上萬位病人。早期由於非為醫療專用，在技術上受了許多限制只能治療上述特定腫瘤，但已得到非常成功的療效。直到 1990 年美國加州羅馬琳達大學建立了第一所醫療專用質子中心，並將治療擴及到頭頸癌、肺、肝、攝護腺癌等全身不同部位腫瘤。到目前為止(2014 年中)，全世界醫療專用質子中心已超過 25 家，累計治療病人數超過 10 萬人，數目並快速上昇。此段歷史說明質子治療已有許多病人經驗證明其療效。

質子與現狀由直線加速器所發出之高能 X-射線(含光子刀、螺旋刀、諾力刀或伽馬刀等)有何不同？就物理上，X-光穿透力強，能治療深部腫瘤。但在穿透至腫瘤過程中，前方的組織劑量高於腫瘤，而穿過腫瘤後之組織仍持續有劑量，容易傷害鄰近的正常組織。質子則不同，當其最初穿越組織時會釋出少數能量，在到達所欲治療的腫瘤深度時即能釋出大量能量(此為布拉格峯 Bragg peak)，而在腫瘤後的正常組織幾乎完全沒有劑量(如圖六及七)。因此對如肝、肺、顱底瘤等腫瘤能安全的增加放射劑量，提高控制率。而對其他腫瘤(如頭頸癌、小兒腫瘤)則是以減少周邊正常組織劑量，降低副作用為主要目的。若質子給予腫瘤的劑量與 X-光相同時，則給予正常組織總劑量平均只有 X-光的 40%。

質子之生物效應與高能 X-射線相似，一般界定為 X-射線之 1.1 倍。而 X-光之能用成功於腫瘤治療就在於其藉由正常組織在將治療次數增加的過程中比腫瘤有較佳的修復力，所以能殺死腫瘤但保留正常組織功能，因此很容易能將 X-射線之經驗轉至質子。

質子對台灣民眾的幫助可能更大於西方國家。我們有兩大腫瘤發生率遠高於其他國家：肝癌及口腔癌。前者每年近萬病人，合適手術者不到兩成。一旦腫瘤超過 4-5 公分，常無法有效控制。而 X-射線治療因會穿透對放射性非常敏感的正常肝臟，因此很難給予高劑量。日本及美國臨床研究顯示，採用質子及重粒子治療不傷及腫瘤外之正常肝組織，因此可以給予非常高劑量治療，得到 9 成以上之局部控制率。再如每年 5 千多名之頭頸癌病人，亦是質子治療的合適位置，特別是靠在一側之腫瘤如口腔癌，利用質子可明顯減少病人對側唾器官

劑量，降低口乾等副作用。而鼻咽癌或口咽癌病人則減少對舌頭、頷下腺、喉頭及食道之照射。美國德州大學安德森癌症中心臨床顯示口咽癌病人治療中置放鼻胃管比例由 45%降至 19%，主要是因減少副作用。

限制質子推廣之主因在於造價極高。兩者皆需由迴旋(或同步)加速器來使能量足以到達深部組織。同時治療室最好能配備 360 度旋轉之機座以能由各角度治療病人。此機座在質子約三層樓高，重 120 噸。一般而言整個質子中心造價連建築在 40 億以上。每療程收費質子在美國約 4 萬到 12 萬美金，平均 6 萬，在日本自付 250-288 萬日圓。因此對於一般病人是極大的負擔。質子治療每療程次數依部位不同而有別。對於肝癌及肺癌，趨勢是減少治療次數。但如果是攝護腺癌或頭頸癌，則仍需 20 次以上之治療。

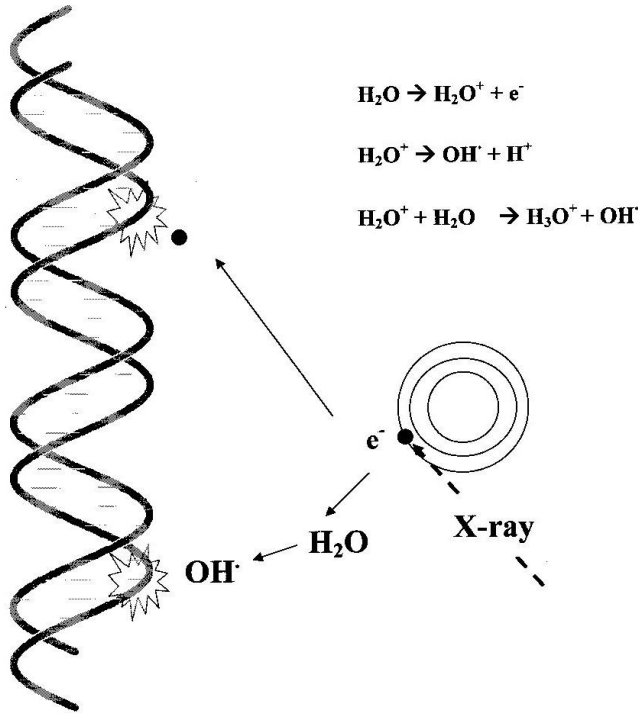
質子治療只是局部治療，對全身轉移或彌漫性腫瘤的病人，可能完全不適用，而也無法取代該有之手術、化療或標靶治療。但考慮病人腫瘤復發或因治療副作用所付出的個人及社會代價時，癌症治療的概念應是在可接受的費用內，在病人腫瘤初次治療有最大機會時，給予最高腫瘤控制率及最少副作用的治療。因此質子治療在一些需接受放射治療病人可達到此目的。

## REFERENCES

1. Elkind MM, H S. Radiation response of mammalian cells grown in culture: 1. Repair of x-ray damage in surviving Chinese hamster cells. *Radiat Res* 1960;13:556-593.
2. Hong JH, Chiang CS, Campbell IL, *et al.* Induction of acute phase gene expression by brain irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1995;33:619-626.
3. Hong JH, Chiang CS, Tsao CY, *et al.* Rapid induction of cytokine gene expression in the lung after single and fractionated doses of radiation. *Int J Radiat Biol* 1999;75:1421-1427.
4. Hong JH, Chiang CS, Tsao CY, *et al.* Can short-term administration of dexamethasone abrogate radiation-induced acute cytokine gene response in lung and modify subsequent molecular responses? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;51:296-303.
5. Hallahan DE, Virudachalam S. Intercellular adhesion molecule 1 knockout abrogates radiation induced pulmonary inflammation. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1997;94:6432-6437.
6. Hallahan DE, Virudachalam S. Ionizing radiation mediates expression of cell adhesion molecules in distinct histological patterns within the lung. *Cancer Res* 1997;57:2096-2099.
7. Wang CJ, Leung SW, Chen HC, *et al.* The correlation of acute toxicity and late rectal injury in radiotherapy for cervical carcinoma: evidence suggestive of consequential late effect (CQLE). *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1998;40:85-91.
8. Paris F, Fuks Z, Kang A, *et al.* Endothelial apoptosis as the primary lesion initiating intestinal radiation damage in mice. *Science* 2001;293:293-297.
9. McBride WH, Economou JS, Kuber N, *et al.* Modification of tumor microenvironment by cytokine gene transfer. *Acta Oncol* 1995;34:447-451.
10. McBride WH, Chiang CS, Olson JL, *et al.* A sense of danger from radiation. *Radiat Res* 2004;162:1-19.
11. Chiang CS, Hong JH, Stalder A, *et al.* Delayed molecular responses to brain irradiation. *Int J Radiat Biol* 1997;72:45-53.
12. Hong JH, Jung SM, Tsao TC, *et al.* Bronchoalveolar lavage and interstitial cells have different roles in radiation-induced lung injury. *Int J Radiat Biol* 2003;79:159-167.
13. Chiang CS, Liu WC, Jung SM, *et al.* Compartmental responses after thoracic irradiation of mice: strain differences. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;62:862-871.
14. Withers HR. Biologic basis for altered fractionation schemes. *Cancer* 1985;55:2086-2095.
15. Withers HR, Taylor JM, Maciejewski B. The hazard of accelerated tumor clonogen repopulation during radiotherapy. *Acta Oncol* 1988;27:131-146.
16. Chen RJ, Lin YH, Chen CA, *et al.* Influence of histologic type and age on survival rates for invasive cervical carcinoma in Taiwan. *Gynecol Oncol* 1999;73:184-190.
17. Hong JH, Tsai CS, Wang CC, *et al.* Comparison of clinical behaviors and responses to radiation between squamous cell carcinomas and adenocarcinomas/adenosquamous carcinomas of the cervix. *Chang Gung Med J* 2000;23:396-404.
18. Garcia-Barros M, Paris F, Cordon-Cardo C, *et al.* Tumor response to radiotherapy regulated by endothelial cell apoptosis. *Science* 2003;300:1155-1159.
19. Hong JH, Chen MS, Lin FJ, *et al.* Prognostic assessment of tumor regression after external

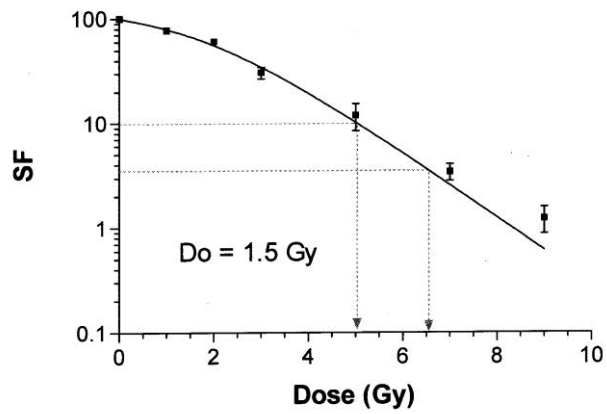
- irradiation for cervical cancer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1992;22:913-917.
20. Hong JH, Tsai CS, Chang JT, *et al.* The prognostic significance of pre- and posttreatment SCC levels in patients with squamous cell carcinoma of the cervix treated by radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1998;41:823-830.
  21. Komaki R, Brickner TJ, Hanlon AL, *et al.* Long-term results of treatment of cervical carcinoma in the United States in 1973, 1978, and 1983: Patterns of Care Study (PCS). *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1995;31:973-982.
  22. Hong JH, Tsai CS, Lai CH, *et al.* Postoperative low-pelvic irradiation for stage I-IIA cervical cancer patients with risk factors other than pelvic lymph node metastasis. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2002;53:1284-1290.

圖一： x-射線與原子作用後，核外電子被擊出而形成游離狀態。被打出的電子可直接與細胞核內的DNA作用，造成DNA斷裂，三分之一之x-射線傷害是由此直接作用產生。被x-射線游離後的原子，經過生化反應，產生自由基(free radical)，間接造 DNA 傷害，三分之二傷害由此間接作用產生。身體內水分為主要成份(70%以上)，故水與 x-射線作用後所產生之hydroxyl radical( $\cdot\text{OH}$ )為造成DNA傷害之主要自由基，

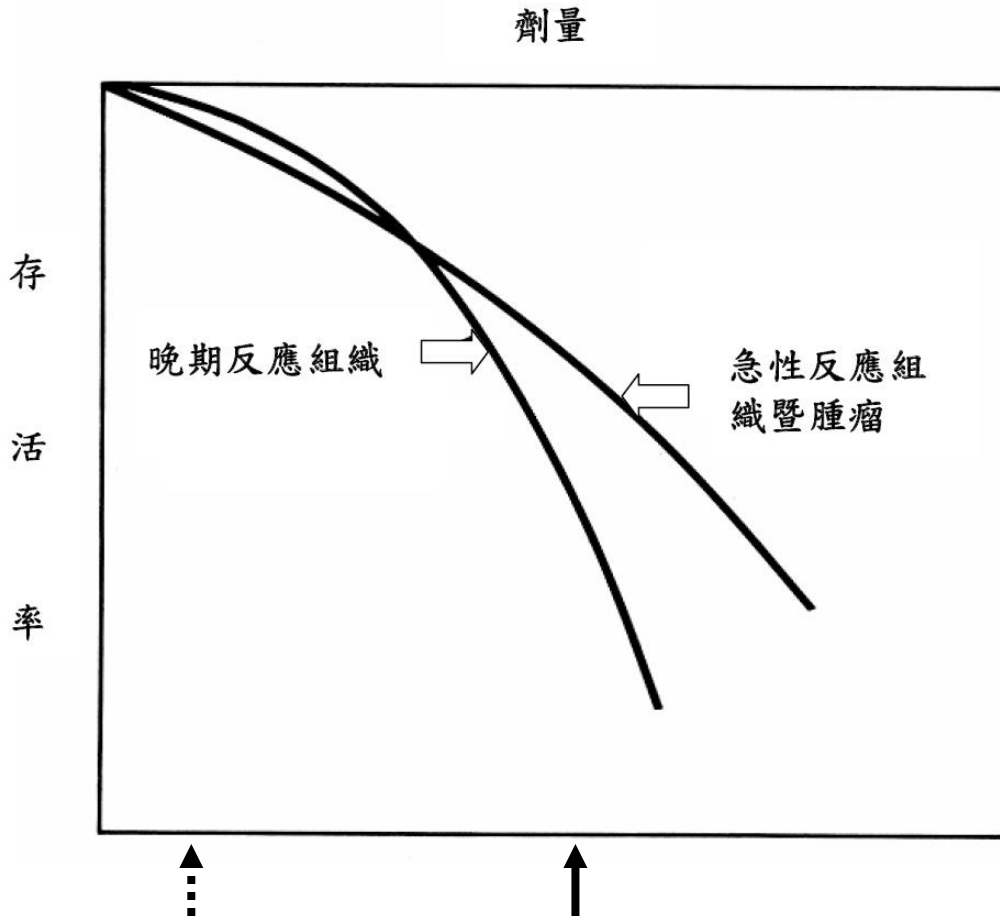




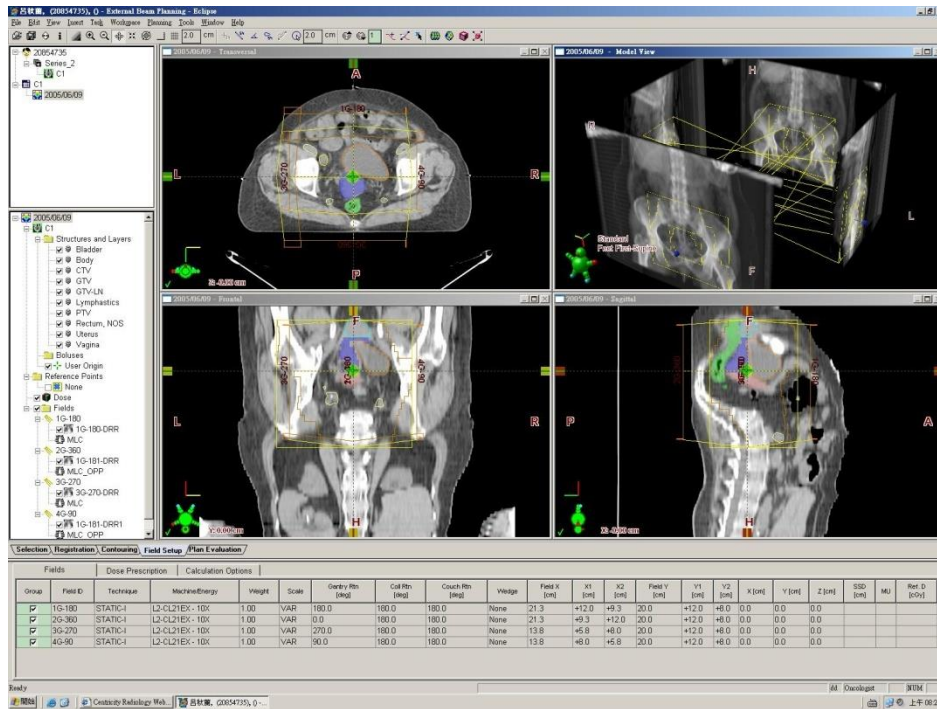
圖二:一攝護腺癌腫瘤細胞株(TRAMP-C1)的存活曲線。縱座標為存活率(SF = survival fraction, %)是採對數單位,橫座標是劑量。低劑量呈現較平緩曲線,叫做肩線(shoulder region),而高劑量才呈現直線(linear region)關係。



圖三:急性反應組織暨腫瘤和晚期反應組織有不同的劑量-存活率反應曲線。在給予高劑量(實線箭頭)時,晚期反應組織之傷害高於急性反應組織暨腫瘤。在低劑量(虛線箭頭)時,則效果相反。當重覆使用低劑量放射時(如臨床之分次治療)會一次又一次放大此效應,最後達到殺死腫瘤細胞但維持晚期反應組織之功能。



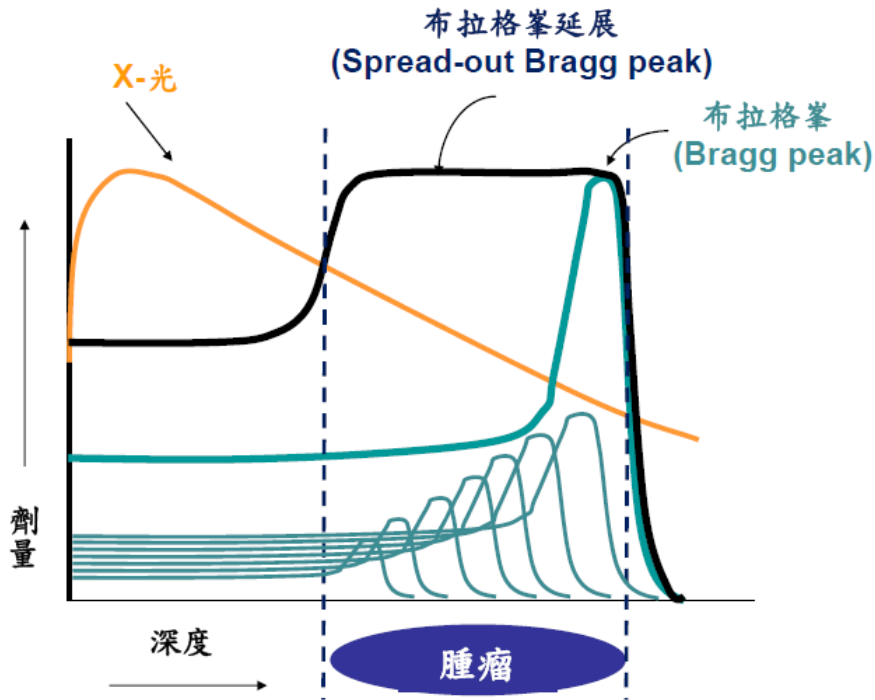
圖四：子宮頸癌病人之照野。病人接受電腦斷層模擬攝影機定但後，電腦軟體會重建其三度空間影像，放射腫瘤醫師可以看到放射的範圍與腫瘤位置及正常組織的相對關係。醫師劃出治療範圍與射線角度後，由直線加速器所內附的多葉準直儀(multi-leaf collimeter)直接做出治療形狀，而不需要外加屏障。



圖五：子宮腔近接治療主要含放入子宮腔的 tandem 及放在陰道頂兩側之 ovoids。射源進入兩側的 ovoids 可將劑量分佈向兩旁拉出像梨子形狀以涵蓋子宮頸及子宮頸旁組織 (parametrium)。亦會放適當之標誌在膀胱及直腸內，以估算此兩器官之劑量。



圖六：質子與 X-ray 之劑量比較。X-射線由於穿透力強，能治療深部組織的腫瘤，但缺點則是穿透至腫瘤過程中，前方的組織劑量高於腫瘤，穿過腫瘤後之組織仍有相當殘餘劑量，容易傷害鄰近的正常組織。而質子穿越組織時會釋出少數能量，在到達所欲治療的腫瘤深度時即能釋出大量能量(此為布拉格峯 Bragg peak)，而在腫瘤後的正常組織完全沒有。由於單一布拉格尖峰並不寬，需將數個布拉格尖峰合在一起，就可擴展成腫瘤的大小。



圖七：顯示質子由於布拉格峯在腫瘤後的正常組織完全沒有劑量，大部份正常肝臟可以完全沒有放射劑量，因此可以給予極高劑量而有效控制腫瘤，且不傷及正常肝臟。

