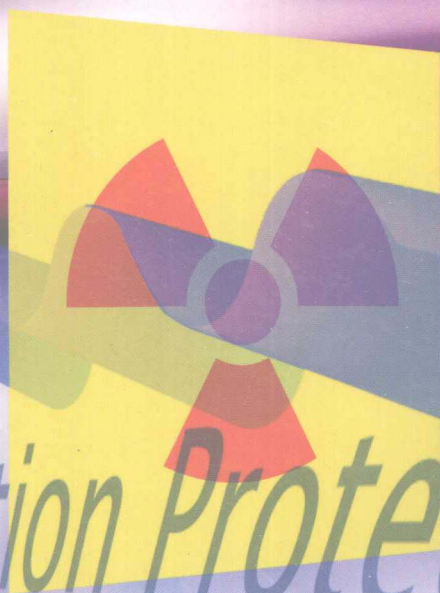


高雄醫學大學

醫用游離輻射防護講習班訓練教材

# 醫用游離輻射防護



*Medical Ionizing Radiation Protection*

編著◎張寶樹

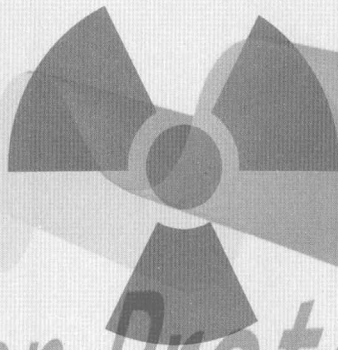


合記圖書出版社 發行

高雄醫學大學

醫用游離輻射防護講習班訓練教材

# 醫用游離輻射防護



*Medical Ionizing Radiation Protection*

編著◎張寶樹



合記圖書出版社 發行

醫用游離輻射防護：高雄醫學大學醫用游離輻射防護  
講習班訓練教材 / 張寶樹編著. -- 初版. -- 臺北市  
：合記，2004 [民 93]  
面；公分  
參考書目：面  
含索引  
ISBN 986-126-153-2 (平裝)  
1. 輻射防護

449.8

93017315

書名 醫用游離輻射防護  
(高雄醫學大學醫用游離輻射防護講習班訓練教材)

編著 張寶樹

執行編輯 鄭巧怡

發行人 吳富章

發行所 合記圖書出版社

登記證 局版臺業字第 0698 號

社址 台北市內湖區(114)安康路 322-2 號

電話 (02)27940168

傳真 (02)27924702

網址 <http://www.hochi.com.tw/>

總經銷 合記書局

北醫店 臺北市信義區(110)吳興街 249 號

電話 (02)27239404

臺大店 臺北市中正區(100)羅斯福路四段 12 巷 7 號

電話 (02)23651544 (02)23671444

榮總店 臺北市北投區(112)石牌路二段 120 號

電話 (02)28265375

臺中店 臺中市北區(404)育德路 24 號

電話 (04)22030795 (04)22032317

高雄店 高雄市三民區(807)北平一街 1 號

電話 (07)3226177

花蓮店 花蓮市(970)中山路 632 號

電話 (03)8463459

花蓮店 花蓮市(970)中山路 632 號

電話 (03)8463459

郵政劃撥 帳號 19197512 戶名 合記書局有限公司

西元 2005 年 1 月 10 日 初版一刷



## 作者簡介

張寶樹現任高雄醫學大學醫學放射技術學系副教授，兼任高雄醫學大學醫用游離輻射防護講習班主任、附設醫院放射腫瘤科技師、輻射防護室主任，畢業於國立清華大學核子工程學系、原子科學研究所保健物理組，高雄醫學院醫學研究所理學博士。教育部公費留學考試博士後研究人員及格，美國密蘇里大學哥倫比亞校區研究反應器園區博士後研究員。專長為保健物理學、放射物理學、醫學物理與放射治療技術學。領有醫學物理師(醫物甄字第019號)、高級輻射防護專業人員(輻專高字第003號)(輻師字00095號)、放射線照相檢驗中級操作執照(非醫人字第0569號、非醫用可發生游離輻射設備高級操作執照(非醫人字第10753號)。曾獲中華民國放射線醫學會九十二年度優良書本著作獎、高雄醫學院優良教師、教育部專科學校教學資料編著第三等獎、國立清華大學同學會頒贈『清華之光』盾牌、77年度中山技術發明獎。發表國際期刊論文7篇、國際會議論文15篇、著作與講義38本、國內期刊論文29篇、國內期刊論文53篇、國內有審查刊物文章55篇、國內報刊及其它文章32篇。



高雄醫學大學醫用游離輻射防護講習班於民國九十三年(2004)六月十一日經「游離輻射防護法」主管機關-行政院原子能委員會以會輻字第0930019334號核准成立，持有輻訓字第00005號，得以「輻射防護服務相關業務管理辦法」第二條之規定從事輻射防護訓練業務。

本書主要依據「游離游離輻射防護法」之授權辦法-「輻射防護服務相關業務管理辦法」附表一、附表三之規定，敘述醫用游離輻射防護，以為高雄醫學大學醫用游離輻射防護講習班的訓練教材。

本書以作者二十餘年來在高雄醫學大學講授「放射物理學」、「保健物理學」，以及參與「放射治療學」、「放射治療技術學」、「放射治療設備學」、「放射器材學」、「影像診斷學」與「核子醫學」之教學經驗為基礎，輔以二十餘年來在高雄醫學大學附設中和紀念醫院放射腫瘤科的輻射防護與醫學物理經驗，是一本深具輻射防護理論與臨床實務的醫用游離輻射防護。

本書共分六篇十五章，全書計有圖25、表71、公式160、例題44與習題281，並附習題詳解。本書附錄A：歷屆輻射防護師、輻射防護員與輻射安全證書認可測驗試題，附錄B：「輻射防護人員管理辦法」、「輻射防護服務相關業務管理辦法」及「放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理辦法」修正草案，附錄C：「游離輻射防護安全標準修正草案」，有助於瞭解考試動向與法規修正。本書附有中英文索引、中英文索引，以利查閱。本書是作者自行打字、排版與校對。

高雄醫學大學進修推廣部、醫學放射技術學系與高雄醫學大學附設



醫院放射腫瘤科的師長同仁，國立清華大學翁師寶山教授，行政院原子能委員會輻射防護處的長官友人與國內輻射防護學界的師長友人提供協助與鼓勵，謹此深表謝意。對於高雄醫學大學醫學研究所放射組碩士班研究生何秀雯小姐的協助校對，合記書局吳富章先生、黃召凡先生與吳貴惠小姐的協助出版，於此一併致謝。

作者才疏學淺，疏忽錯誤恐在所難免，尚祈國內醫學界、牙醫學界與輻射防護學界的先進，不吝指正是幸。

最後要感謝家人之支持。

張賓樹 謹識

民國93年(2004)8月8日

於高雄醫學大學醫學放射技術學系、  
醫用游離輻射防護講習班，  
附設醫院放射腫瘤科、  
輻射防護室



序..... i

**第一篇 輻射基礎課程** 1

第一章 輻射防護單位.....2

1.1 輻射單位.....2

1.2 輻射強度.....4

1.3 曝露.....5

1.4 克馬.....6

1.5 吸收劑量.....7

1.6 等價劑量.....8

1.7 活度.....9

習題.....9

解答.....10

第二章 輻射衰減.....11

2.1 光子與物質之相互作用.....11

2.2 光電效應.....11

2.3 康普吞效應.....13

2.4 成對發生.....15

2.5 衰減係數.....17

習題.....19

解答.....20

第三章 核種衰變.....21

3.1 原子核制激過程.....21

3.2 衰變係數.....22

3.3 衰變系列.....24

3.4 核種蛻變模式.....27

3.5 蛻變.....27

3.6 蛻變.....28



3.7 蛻變.....	30
3.8 電子補獲.....	31
3.9 內轉換.....	33
3.10 異構物躍遷.....	35
3.11 臨床常用的放射性核種.....	36
習題.....	38
解答.....	38
第四章 輻射生物.....	41
4.1 輻射對DNA的傷害.....	41
4.2 細胞殘存曲線.....	44
4.3 靶擊理論.....	45
4.4 一元二次方模型.....	46
4.5 正常組織的劑量(回應關係).....	47
4.6 輻射敏感度.....	48
4.6.1 細胞的輻射敏感度.....	48
4.6.2 組織的輻射敏感度.....	50
4.6.3 器官的輻射敏感度.....	51
4.7 細胞輻射傷害的修復.....	52
4.7.1 潛在致死傷害的修復.....	52
4.7.2 次致死傷害的修復.....	52
4.7.3 慢速的傷害修復.....	53
4.7.4 影響細胞修復的物理因素.....	53
4.8 增氧比.....	54
4.9 直線能量轉移.....	55
4.10 阻擋本領.....	57
4.11 相對生物效能.....	57
4.12 射質因數.....	59
4.13 輻射致敏感劑.....	62
4.14 生物減少藥物.....	63
4.15 輻射保護劑.....	63
4.16 腫瘤動力學.....	64
4.17 腫瘤動力學.....	66



4.18 輻射健康效應.....	67
4.19 劑量(回應曲線).....	68
4.20 機率效應.....	71
4.21 確定效應.....	71
4.22 危險度.....	72
習題.....	75
解答.....	76

## **第二篇 輻射度量與劑量課程 81**

第五章 輻射度量.....	82
5.1 輻射測量.....	82
5.2 Farmer游離腔.....	82
5.3 矽二極體偵檢器.....	85
5.4 氟化鋰熱發光劑量計.....	85
5.5 軟片.....	88
5.6 充氣式偵檢器.....	89
5.7 半導體偵檢器.....	93
5.8 閃爍偵檢器.....	98
習題.....	99
解答.....	100
第六章 輻射劑量學.....	109
6.1 布拉格-戈雷空腔理論.....	109
6.2 介質的吸收劑量.....	112
6.3 水的吸收劑量.....	114
6.4 電子治療劑量學.....	114
6.5 AAPM TG-51.....	118
習題.....	121
解答.....	122

## **第三篇 輻射防護課程 126**

第七章 輻射防護原理.....	127
7.1 輻射防護所使用的量.....	127

7.2 輻射防護的生物觀點.....	129
7.3 輻射防護的觀念架構.....	131
7.4 職業曝露的管制.....	132
7.5 醫療曝露的管制.....	134
7.6 一般人曝露的管制.....	134
7.7 干預的防護體系.....	135
7.8 輻射防護管理的要求.....	137
7.9 劑量評估.....	139
7.10 輻射防護的最新觀念.....	140
7.10.1 現行ICRP No.60所造成的困惑.....	140
7.10.2 可控制劑量.....	140
7.10.3 最新的防護系統.....	143
7.10.4 新建議的修訂.....	146
7.10.5 新的防護行動基準.....	148
7.10.6 2005年ICRP新建議草案.....	149
習題.....	156
解答.....	157
第八章 體外輻射防護.....	163
8.1 體外輻射防護原則.....	163
8.2 診斷x光室的屏蔽設計原則.....	164
8.3 診斷x光室的主防護屏蔽設計.....	168
8.4 防護屏蔽材料.....	171
8.5 次防護屏蔽的設計.....	175
8.6 醫用直線加速器治療室的屏蔽設計.....	182
8.7 鈷60治療機治療室的屏蔽設計.....	192
8.8 遙控後荷式近接治療室的屏蔽設計.....	196
習題.....	199
解答.....	200
第九章 體內輻射防護.....	205
9.1 體內輻射防護原則.....	205
9.2 環境的輻射防護原則.....	205
9.3 體內曝露的偵測.....	206

9.4 體內曝露的劑量評估.....	208
9.5 核醫體內劑量評估.....	220
9.6 體內曝露的防護措施.....	232
習題.....	233
解答.....	234

**第四篇 輻射應用與防護 242**

第十章 醫院的輻射防護.....	243
10.1 醫用物質與設備輻射安全檢查項目及其作業規定.....	243
10.1.1 應申請許可證之放射性物質或可發生游離輻射設.....	243
10.1.2 應申請登記證之可發生游離輻射設備.....	245
10.2 放射診斷的輻射防護.....	247
10.3 放射治療的輻射防護.....	250
10.4 牙科的輻射防護.....	252
10.5 核子醫醫的輻射防護.....	253
10.6 證照統計.....	257
習題.....	258
解答.....	258
第十一章 輻射應用.....	261
11.1 輻射應用原理.....	261
11.2 輻射應用的考量因素.....	261
11.2.1 放射性同位素的選擇.....	261
11.2.2 輻射強度的考量.....	263
11.2.3 輻射安全的考量.....	263
11.3 輻射的醫學應用.....	265
11.4 輻射的農業應用.....	267
11.4.1 輻射的突變育種.....	267
11.4.2 食品照射.....	268
11.4.3 雄昆蟲不孕.....	268
11.4.4 示蹤技術.....	268
11.5 輻射的工業應用.....	269
11.6 輻射在水文及地球科學的應用.....	273

習題.....	274
解答.....	274

**第五篇 游離輻射防護法規**
**277**

第十二章 游離輻射防護法及其授權辦法.....	278
12.1 游離輻射防護法.....	278
12.2 游離輻射防護法之授權辦法.....	291
12.2.1 游離輻射防護法施行細則.....	291
12.2.2 游離輻射防護安全標準.....	296
12.2.3 輻射防護管理組織及輻射防護人員設置標準.....	305
12.2.4 輻射防護人員管理辦法.....	314
12.2.5 放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業 管理辦法.....	328
12.2.6 放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員管理 辦法.....	345
12.2.7 輻射工作場所管理與場所外環境輻射監測準則.....	360
12.2.8 放射性物質生產設施運轉人員管理辦法.....	364
12.2.9 高強度輻射設施種類及運轉人員管理辦法.....	365
12.2.10 人員輻射劑量評定機構認可及管理辦法.....	367
12.2.11 嚴重污染環境輻射標準.....	378
12.2.12 商品輻射限量標準.....	379
12.2.13 輻射源豁免管制標準.....	380
12.2.14 軍事機關輻射防護及管制辦法.....	398
12.2.15 游離輻射防護管制收費標準.....	399
12.2.16 放射性污染建築物事件防範及處理辦法.....	405
12.2.17 放射性物質安全運送規則.....	411
12.2.18 輻射醫療曝露品質保證組織與專業人員設置及委 託相關機構管理辦法草案.....	428
12.2.19 輻射醫療曝露品質保證標準草案.....	430
12.2.20 游離輻射防護業務委託辦法草案.....	437
習題.....	439
解答.....	440

第十三章 放射性物質與可發生游離輻射設備之檢查.....	451
13.1 輻射防護計畫.....	451
13.1.1 輻射防護計畫綱要.....	451
13.1.2 游離輻射防護法重要條款.....	453
13.1.3 輻射防護計畫範例.....	454
13.2 輻射工作人員特別健康檢查項目.....	461
13.3 醫療院所輻射作業場所的輻射安全檢查.....	463
13.4 放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施年度偵測項.....	472
13.5 輻射作業場所檢查.....	474
13.6 非密封放射性物質輻射作業場所輻射安全檢查.....	476
13.7 放射性物質與可發生游離輻射設備之相關事項.....	484
13.7.1 新申請.....	484
13.7.2 換發或其他.....	495
13.7.3 輻射安全測試報告.....	502
13.7.4 年度偵測證明.....	519
13.7.5 輻射安全檢查項目.....	527
13.8 原子能委員會輻射防護類人民依法規申請案件之處理期間表.....	532
習題.....	535
解答.....	536
<b>第六篇 輻射防護實習或見習</b> .....	<b>541</b>
第十四章 臨床輻射防護實習.....	542
14.1 管制區及監測區之劃分.....	542
14.2 人員劑量計.....	545
14.3 擦拭測試.....	553
14.4 輻射偵測.....	556
習題.....	561
解答.....	562
第十五章 非密封射源實務操作.....	570
15.1 非密封射源的定義.....	570
15.2 核子醫學.....	571



15.3 非密封射源安全操作的基本原則.....	571
15.4 處理非密封射源場所的分級、使用核種活度限值與配備 要求.....	572
15.5 非密封射源工作場所的內部設施與佈置.....	572
15.6 操作場所管制區分以及輻射與污染限值標準.....	573
15.7 操作非密封射源時應注意事項.....	576
15.8 操作非密封射源工作場所的輻射安全守則 .....	577
15.9 人員除污步驟.....	577
習題.....	579
解答.....	580
參考文獻.....	593
附錄 A.....	597
附錄 B.....	653
附錄 C.....	681
中英文索引 .....	713
英中文索引 .....	727

# 第一篇 輻射基礎課程



# 第一章 輻射防護單位

## 1.1 輻射單位

輻射強度(radiation intensity)I、曝露(exposure)X、克馬(kerma)K、吸收劑量(absorbed dose)D、等價劑量(equivalent dose)H、活度(activity)A等六個常用輻射量的國際制單位(SI units)如表 1.1 所示。常用的英文字首(prefies)如表 1.2 所示。基本的 SI 單位與導出的 SI 單位分別如表 1.3、表 1.4 所示。

表 1.1 輻射量的國際制單位

量(符號)	SI 單位(舊單位)	換算公式
強度(I)	$\text{W m}^{-2}=\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$	
曝露(X)	$\text{C kg}^{-1} \text{ in air (R)}$	$1 \text{ C kg}^{-1}=3876 \text{ R}$
克馬(K)	Gy(rad)	$1 \text{ Gy}=1 \text{ J kg}^{-1}=100 \text{ rad}$
吸收劑量(D)	Gy(rad)	$1 \text{ Gy}=1 \text{ J kg}^{-1}=100 \text{ rad}$
等價劑量(H)*	Sv(rem)	$1 \text{ Sv}=1 \text{ J kg}^{-1}=100 \text{ rem}$
活度(A)	Bq(Ci)	$1 \text{ Bq}=1 \text{ s}^{-1}$

\*ICRP-26(1977)稱為等效劑量。ICRP-60(1990)稱為等價劑量或等值劑量。

表 1.2 國際制單位常用字首

字首	縮寫	意義
atto	a	$10^{-18}$
femto	f	$10^{-15}$
pico	p	$10^{-12}$
nano	n	$10^{-9}$
micro	$\mu$	$10^{-6}$
mili	m	$10^{-3}$
centi	c	$10^{-2}$
kilo	k	$10^3$
mega	M	$10^6$
giga	G	$10^9$
tera	T	$10^{12}$

表 1.3 基本的 SI 單位

量(符號)	SI 單位(符號)
長度(x)	米(m)
質量(m)	千克(kg)
時間(t)	秒(s)
電流(I)	安培(A)
溫度(T)	Kelvin(K)
物質的量	莫耳(mol)
發光強度	燭度(cd)

表 1.4 導出的 SI 單位

量(符號)	SI 單位(符號)
力(F)	牛頓(N=kg m s <sup>-2</sup> )
功, 能(E)	焦耳(J=N m)
功率	瓦特(W=J s <sup>-1</sup> )
電荷(q)	庫倫(C=A s)
電位(V)	伏特(V=J C <sup>-1</sup> )
電場(ε)	伏特 米 <sup>-1</sup> (V m <sup>-1</sup> )
電阻(R)	歐姆(Ω=V A <sup>-1</sup> )
磁通密度(B)	特斯拉(tesla, T)
溫度(T)	°C 或 K
頻率(f)	赫芝(Hz=s <sup>-1</sup> )
波長(λ)	m
速度(v)	m s <sup>-1</sup>

例 1.1 用於原子尺度(atomic scale)的面積單位為何? 長度單位為何?

解: 用於原子尺度的面積單位為邦(barn, b), 長度單位為埃(angstrom, Å)。

$$1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$$