

透視攝影及介入放射診療 輻射安全訓練

中華民國醫學物理學會

黃怡璇，廖彥朋，關婉君，蔡惠予，劉鶴齡

主講人：葉美好

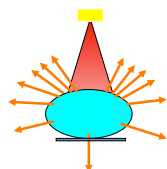
V4.3

大綱

- 輻射劑量及輻射防護
- 輻射生物效應
- 透視攝影十項操作原則
- 其他特殊注意事項

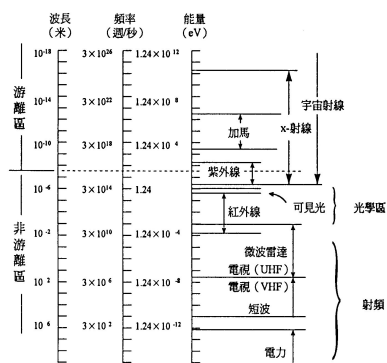
2

輻射劑量及輻射防護



3

電磁輻射能譜圖



4

光子與物質的相互作用

- X-射線與γ-射線為不帶電光子。
- 穿透力極強。
- 光子與物質作用包括：光電效應、康普吞效應、成對發生。
- 光子先以前述機制將能量傳給物質而產生電子。
- 電子再與物質發生游離作用。

5

透視攝影相關的輻射物理量

- 吸收劑量(Absorbed dose)
 - Gray, 1 Gy = 1 J/kg
 - rad, 1 rad = 1 cGy
- 入射表面曝露(Entrance Skin Exposure, ESE or ES Air Kerma, ESAK)
 - Roentgen, 1 R = 2.58×10^{-4} C/kg
 - 1R = 8.7 mGy AK
- 劑量面積乘積(Dose Area Product, DAP or air-Kerma Area Product, KAP (Gy · cm²))
- 累積劑量(Cumulative Dose (CD, mGy))
- 等價劑量(Equivalent dose (H, Sv or rem)) = $D \times w_R$
 - $w_R = 1$ for x-ray
- 有效劑量(Effective dose (E, Sv or rem)) = $\sum w_i \times H_i$ (for organ i)

游離輻射防護安全標準

- 第7條 輻射工作人員職業曝露之劑量限度，依下列之規定：
 - 每連續五年週期之有效劑量不得超過100毫西弗。且任何單一年內之有效劑量不得超過50毫西弗。
 - 眼球水晶體之等價劑量於一年內不得超過150毫西弗。
 - 皮膚或四肢之等價劑量於一年內不得超過500毫西弗。

7

游離輻射防護安全標準

- 第10條 16歲至18歲接受輻射作業教學或工作訓練者，其個人劑量限度，依下列之規定：
 - 一年內之有效劑量不得超過6毫西弗。
 - 眼球水晶體之等價劑量於一年內不得超過50毫西弗。
 - 皮膚或四肢之等價劑量於一年內不得超過150毫西弗。

8

游離輻射防護安全標準

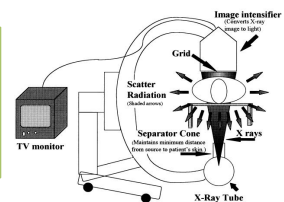
- 第11條 雇主於接獲女性輻射工作人員告知懷孕後，應即檢討其工作條件，使其胚胎或胎兒接受與一般人相同之輻射防護。
- 第12條 一般人之劑量限度，依下列之規定：
 - 一年內之有效劑量不得超過1毫西弗。
 - 眼球水晶體之等價劑量於一年內不得超過15毫西弗。
 - 皮膚或四肢之等價劑量於一年內不得超過50毫西弗。

9

工作人員輻射曝露之來源

- 輻射來源包括主射束(primary)、滲漏(leakage)及散射(scatter)。
- 工作人員輻射曝露的主要來源為病人之散射。

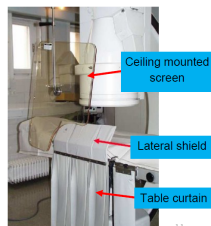
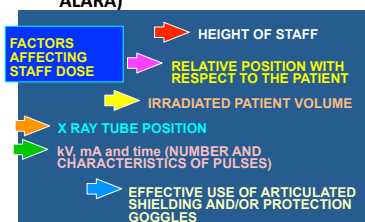
- 每1000個光子打到病人，約100-200個被散射，20個達到detector，其餘的被吸收(=輻射劑量)。
- 病人散射至四週的輻射，其空間分布為不均勻的。



IAEA training material, RPDIR-L16.1 10

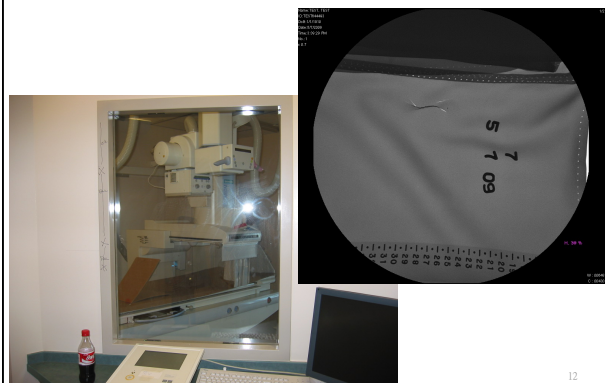
工作人員的輻射防護

- 把握體外輻射防護的三大原則：
 - 時間：透視時間，攝影張數。
 - 距離：與病人之距離，平方反比關係。
 - 屏蔽：鉛衣及其它防護。
- 目標：合理抑低(As Low As Reasonably Achievable, ALARA)



IAEA training material, RPDIR-L17.1 11

檢查你的屏蔽



12

工作人員的輻射監控

- 透視攝影人員應佩帶適當的輻射監控設備。
- 輻射工作人員所得之劑量應定期檢視。
- 醫療院所應設定適當的行動基準。



SUGGESTED ACTION LEVELS FOR STAFF DOSE

Body	0.5 mSv/month
Eyes	5 mSv/month
Hands/Extremities	15 mSv/month

IAEA training material, RPDIR-L17.1

病人輻射劑量控制的基本原則

- 正當性 (Justification)
 - 避免非必要的檢查及非必要的影像
- 最適化 (Optimization)
 - 選擇適當的方法進行檢查，在能夠產生診斷必要資訊的前提下，盡量降低病人的輻射劑量。

14

病人及工作人員的輻射劑量範例

- 病人：假設ESAKR=40 mGy/min
 - 若透視時間 = 30 min, ESAK = 1.2 Gy。
 - 動態攝影(Digital run)可產生2-10 倍的曝露率
 - 2 Gy 的單次劑量可造成暫時性的皮膚紅斑
 - 一個曝露30分鐘的介入性程序可能造成15 Gy的皮膚劑量(與透視的使用方式有關)，如此的劑量可造成嚴重的皮膚傷害。
- 工作人員：假設40 μ Gy/min，約為病人的千分之一。
 - 假設一個procedure，病人得到1Gy，工作人員位置約為1 mGy。
 - 假設鉛衣及其他屏蔽擋掉99%，則工作人員所得為0.01 mGy。
 - IAEA example for ERCP
 - Effective dose ~ 0.07 mSv/procedure
 - Dose to eyes around ~ 0.1 to 1.7 mGy per procedure
 - Dose to hands around ~ 0.5 mGy per procedure
 - 若每個月做10次，則月有效劑量約為0.7 mSv，eye dose 約為1-17 mGy，hand dose 約為5 mGy。

15

介入性診療輻射劑量範例

Procedure	Skin Dose	Author, Year, Journal
Coronary Angiography (CA) Intervention without CA (I)	Cumulative dose CA : 126 mGy I : 3582 mGy I + CA : 3301 mGy	Cusma 1999 JACC
Cerebral Embolization (CE) Biliary Stent (BS) Nephrostomy (NE)	CE : 160 – 180 mGy BS : 110 mGy NE : 110 mGy	Mc Parland 1998 BJR
Radio-frequency cardiac catheter ablation	Skin injuries Cumulative dose/procedure 1100 – 1500 mGy	Vano 1998 BJR
Radio-frequency cardiac catheter ablation	Skin injuries Total skin dose : > 2500 mGy	Wagner 1998 RSNA

IAEA training material, RPDIR-L17.1

介入性診療輻射劑量範例

Procedure	Skin Dose	Author, Year, Journal
TIPS	400 – 1700 mGy	Zweers 1998 BJR
Neuroradiologic Procedures	Frontal : 1200 mGy Lateral : 640 mGy (in 25% of the cases, skin dose > 2500 mGy)	Gknatsios 1997 Radiology
Radio-frequency cardiac catheter ablation (pediatric)	Maximum Skin dose 90 – 2350 mGy	Geise 1996 PACE
PTCA Hepatic Embol. (HE) Cerebral Embol. (CE)	PTCA : 106 mGy HE : 500 mGy CE : 350 mGy	Vano 1995 BJR

IAEA training material, RPDIR-L17.1

輻射生物效應



Balter et al., Radiology, 2010

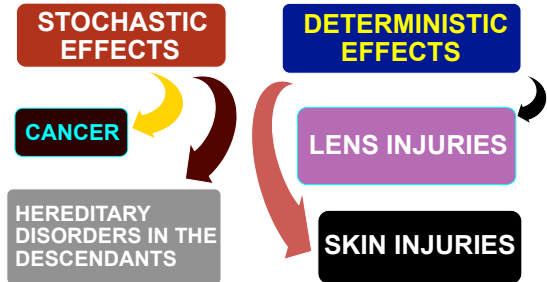
18

組織/器官的輻射敏感度

- 分裂次數愈高者愈敏感。
- 分裂頻率愈高者愈敏感。
- 型態與功能尚未分化者愈敏感。
- 例如腸黏膜上的絨毛細胞為分化母細胞，對輻射相當敏感；肌肉、神經細胞已分化完成，對輻射非常不敏感。

19

透視攝影游離輻射的生物效應



IAEA training material, RPDIR-L17.1

機率效應

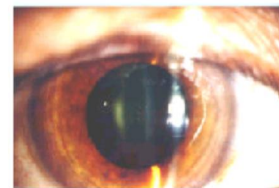
- 游離輻射的機率效應可由有效劑量評估。
- 透視攝影的有效劑量(mSv)可由KAP ($\text{Gy} \cdot \text{cm}^2$)估計。
- 年紀愈小風險愈大！

Groups/Subgroups	Examinations	Dose Conversion Coefficient (DCC) [$\text{mSv}(\text{Gy} \cdot \text{cm}^2)^{-1}$]
Urinary studies	Cystometrography, Cystography, Excretory urography, micturating cysto-urethrography, Urethrography	0.18
Noncardiac diagnostic procedures		
Peripheral vascular	Arteriography (all types)	0.26
Renal	Antegrade pyelography, Retrograde pyelography	0.18
Renal	Renal angiogram, Abdominal aortography	0.26
Neurological	Cervical spine	0.13
	Pulmonary angiography, Venacavogram	0.12
Noncardiac interventional vascular procedures		
Percutaneous transluminal angioplasty (PTA)		0.26
Stent placement	Renal/visceral PTA with stent, Iliac PTA with stent, Bile duct, dilation and stenting	0.26
Embolization	Chemoembolization, Pelvic arterial Embolization, Pelvic vein embolization: ovarian vein, Other tumor embolization, Embolization	0.26
Cardiac procedures		
Diagnostic coronary angiography		0.12
Interventional procedures	Angioplasty	0.20-0.26
	Percutaneous transluminal coronary angioplasty	0.18-0.28
	Embolization	0.26

Examples selected from NCRP Report160

21

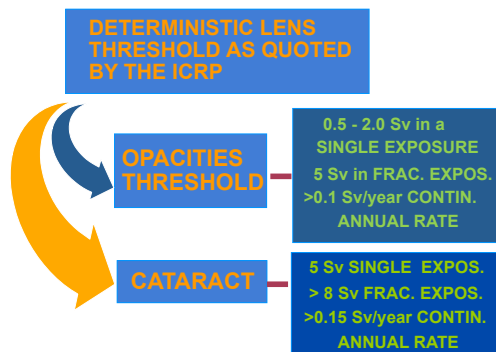
確定效應：水晶體



Radiation induced opacities in the lens of an interventional radiology specialist subjected to high levels of scatter radiation from an over-table X Ray tube. (Photograph from Vañó et al. (1998)).

ICRP85/IAEA training material, RPDIR-L17.2

確定效應：水晶體



IAEA training material, RPDIR-L17.1

確定效應：皮膚

Coronary angioplasty twice in a day followed by bypass graft because of complication. Estimated skin dose ~ 20 Gy



6-8 weeks post procedure 16-21 weeks post procedure 18-21 months post procedure

Shope TB. Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy. <http://www.fda.gov/RadiationEmittingProducts/RadiationEmittingProductsandProcedures/MedicalImaging/HealthPhysics/ucm116682.htm>. U.S. Food and Drug Administration. Public Domain

24

確定效應：皮膚/掉髮



Radiation injury in a 60-year-old woman subsequent to successful neurointerventional procedure for the treatment of acute stroke. Estimated fluoroscopy time was more than 70 minutes; 43 imaging series were performed during course of the procedure. The head was not shaved. Note focal epilation on scalp and skin injury on neck but not on scalp

Balter et al., Radiology, 2010

確定效應：皮膚/掉髮

- 會造成某特定型態的皮膚或毛髮反應的最低輻射劑量，並非為單一閾值之劑量，而是一個劑量範圍。
- 某特定型態的皮膚或毛髮反應的開始及結束時間，於接受曝露後，沒有固定的時間點，而是發生於一個時間範圍。
- 對大部分的病人，只有在皮膚劑量大於5 Gy的情況下，才會發生對臨床上重要的皮膚或毛髮反應。
- 由前次放射治療或曝露程序所產生的剩餘效應，會影響接下來曝露程序所造成的皮膚及皮下反應。

Translated from Balter et al., Radiology, 2010

確定效應：皮膚/掉髮

Single-Site Acute Skin-Dose Range (Gy)	NCI Skin Reaction Grade ^a	Approximate Time of Onset of Effects			
		Prompt	Early	Midterm	Long Term
A1 0-2	NA	No observable effects	No observable effects expected	No observable effects expected	No observable effects expected
A2 2-5	1	Transient erythema	Epilation	Recovery from hair loss	No observable results expected
B 5-10	1-2	Transient erythema	Erythema, epilation	Recovery; at higher doses, prolonged erythema, permanent partial epilation	Recovery; at higher doses, dermal atrophy or induration
C 10-15	2-3	Transient erythema	Erythema, epilation; possible dry or moist desquamation; recovery from desquamation	Prolonged erythema; permanent epilation	Telangiectasia ^b ; dermal atrophy or induration; skin likely to be weak
D >15	3-4	Transient erythema; after very high doses, edema and acute ulceration; long-term surgical intervention likely to be required	Erythema, epilation; moist desquamation	Dermal atrophy; secondary ulceration due to failure of moist desquamation to heal; surgical intervention likely to be required; at higher doses, dermal necrosis, surgical intervention likely to be required	Telangiectasia ^b ; dermal atrophy or induration; possible late skin breakdown; wound might be persistent and progress into a deeper lesion; surgical intervention likely to be required

Balter et al., Radiology, 2010

透視攝影十項操作原則

28

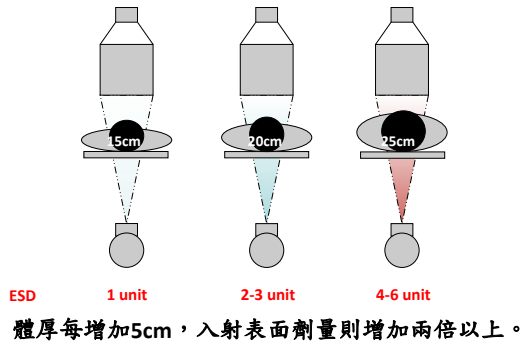
- 原則1. 較厚體型會增加入射表面劑量
- 原則2. 工作人員應站在影像接收裝置側
- 原則3. 管球應設置於病床下
- 原則4. 應盡量增加管球與病人間距
- 原則5. 縮短病人與影像接收裝置的距離
- 原則6. 減少使用放大功能
- 原則7. 使用準直儀限制視野
- 原則8. 減少曝露時間
- 原則9. 善用距離及屏蔽
- 原則10. 個人輻射監控

29

原則1 較厚體型會增加入射表面劑量

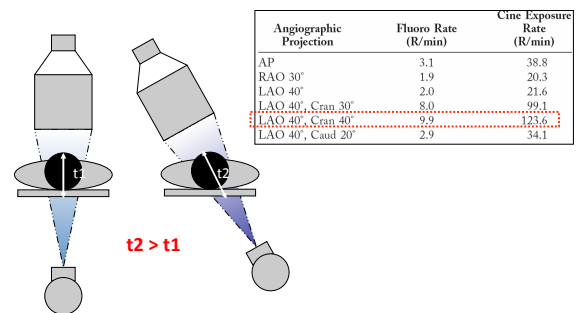
30

體型較大病人會增加入射表面劑量



IAEA Training Material, NCNR-L06A

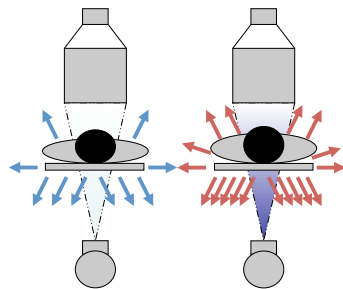
斜向入射會增加入射表面劑量



IAEA Training Material, NCNR-L05

增加病人劑量會增加工作人員散射輻射

- 病人散射輻射為工作人員輻射劑量最主要的來源。
- 降低病人劑量，就可以降低工作人員輻射劑量。



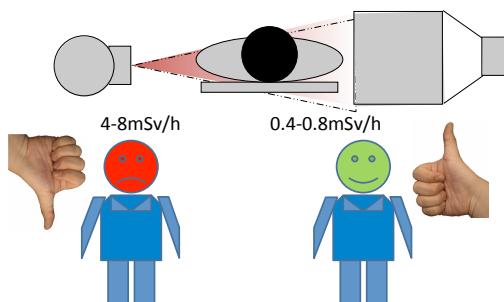
33

原則2

工作人員應站在影像接收裝置側

34

站在影像接收裝置側



Modified from IAEA Training Material, NCNR-L05

雙手置於主射束之外

- 手置於主射束內，會增加曝露條件(如: kVp, mA)，也會增加病人和工作人員輻射劑量。
- 站在影像接收裝置側亦可減少手在主射束內之曝露。
- 使用鉛手套可降低工作人員手部劑量，但應置於主射束外，否則自動亮度控制會增加輻射輸出，增加病人劑量。

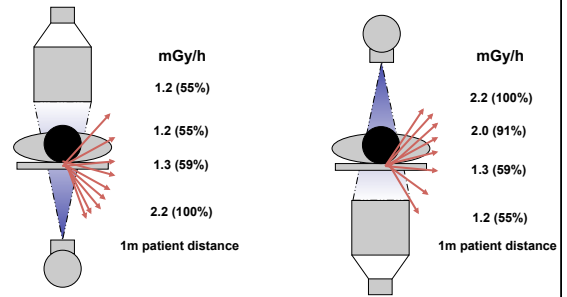
36

原則3 X光管應設置於檢查床下

37

X光管置於檢查床下減少工作人員曝露率

Ex. 100 kVp, 1mA, field size=20x20 cm, dose rate=1Gy/h



Modified from IAEA Training Material, NCNR-L05

遙控透視攝影非設計於介入性診療

- X光管固定於檢查床之上
- 工作人員站在檢查床邊進行診療會接受來自病人大量散射輻射，尤其水晶體。



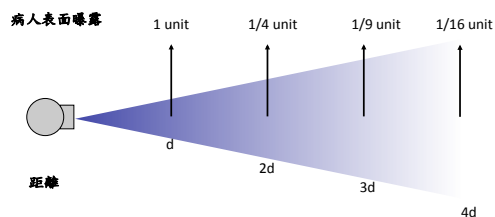
39

原則4 應盡量增加X光管與病人間距

40

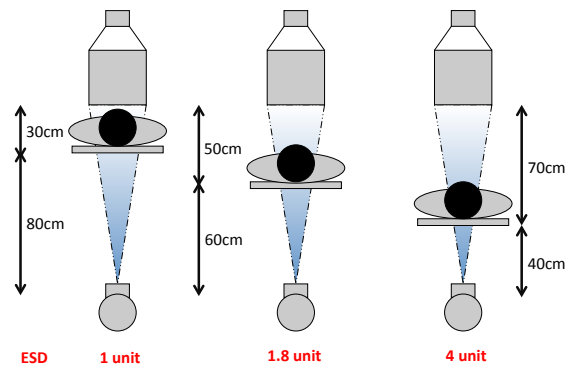
保持X光管遠離病人

- 平方反比定律



41

範例



42

相關注意事項

- 降低檢查床時，也應同時降低影像接收裝置。
- 放大時應使用放大模式，避免降低檢查床而增加病人與工作人員輻射劑量。

43

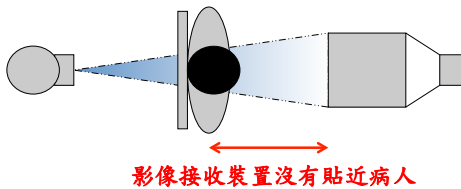
原則 5

縮短病人與影像接收裝置的距離

44

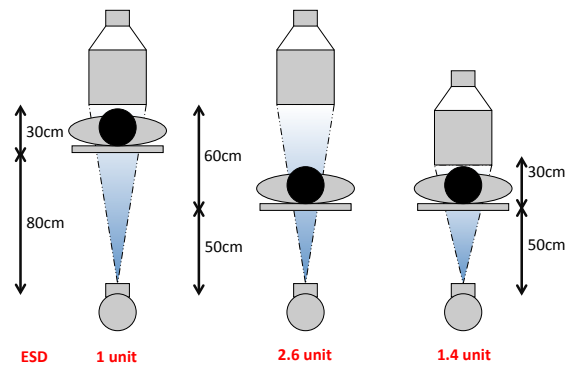
如果病人與影像接收裝置的距離的太大

- ABC將會增加輻射輸出
- 對操作者增加散射輻射
- 當檢查床必須降低時，可以將SID 縮短，以縮短影像接收裝置和病人的距離



45

與影像接收裝置距離過大造成劑量增加



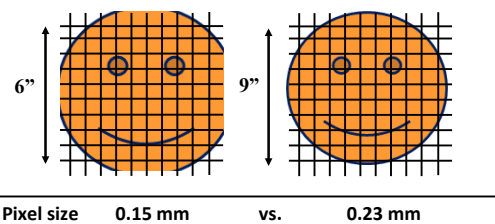
46

原則 6 減少使用放大功能

47

放大模式

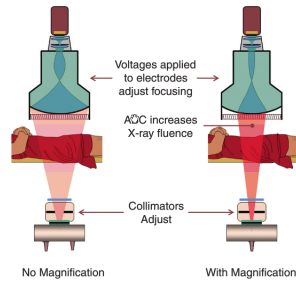
- 放大模式("MAG") 提供高解析度的放大影像，但會增加病人與操作者的輻射劑量



48

影像增強管的放大原理

- 縮小入射照野。
- 使影像變大，解析度增加。



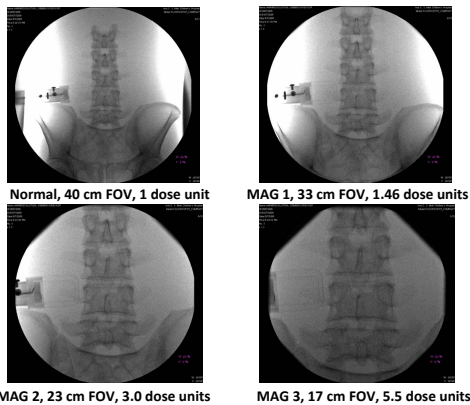
Bushberg, Essential Physics of Medical Imaging, 3rd Ed. 2011

放大對劑量的影響

- 對影像增強管的影響
 - 由於單位面積光子數減少，ABC系統會增加輻射輸出，以維持相同的亮度。
 - 劑量與放大比率平方成正比。
- 對平板偵檢器的影響
 - 劑量是否增加與其設計有關。
- 使用電子放大避免使用幾何放大

50

放大功能的劑量貢獻



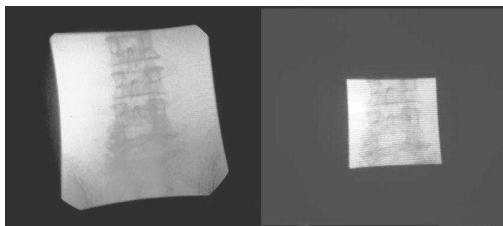
51

原則 7 使用準直儀限制照野

52

準直儀

- 依診療的需求，使用準直儀限制照野。



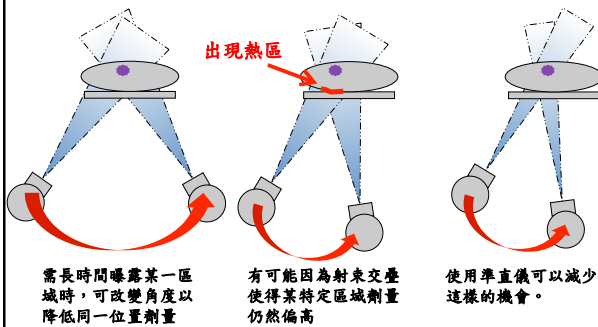
53

使用準直儀的好處

- 可以降低散射輻射，以提高影像對比度。
- 降低散射輻射也可以減少操作者的劑量。
- 可以降低病人重要器官的劑量，例如：眼球。
- 增加影像的等化/均勻度，例如：背部影像，擋掉空氣影像。
- 可以避免手的曝露。
- 當需要旋轉機頭時，可以減少交疊曝露的機會。

54

改變角度與準直儀降低同一位置劑量



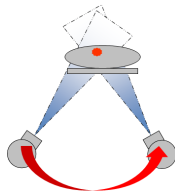
55

原則 8 減少曝露時間

56

減少透視時間

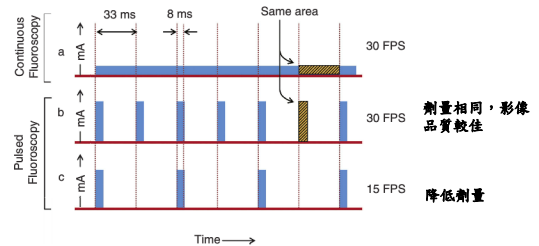
- 不要同時透視和研究影像
- 不要同時透視和與他人交談
- 利用不同角度的投射減少同一入射區域的皮膚效應 (需要在長時間曝露特定區域時)



57

使用脈衝式透視攝影

- 盡可能使用脈衝式透視攝影
- 在取得可接受的影像品質情況下降低frame rate (Ex.小孩)

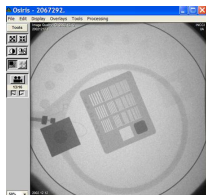


Bushberg, Essential Physics of Medical Imaging, 3rd Ed. 2011

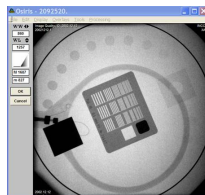
58

減少cine的次數

- Cine比一般透視攝影的劑量高數倍



Siemens Axiom Artis
Fluoro low dose
20 cm PMMA
13 $\mu\text{Gy}/\text{fr}$ (entrance PMMA)



Siemens Axiom Artis
Cine normal mode
20 cm PMMA
177 $\mu\text{Gy}/\text{fr}$ (entrance PMMA)

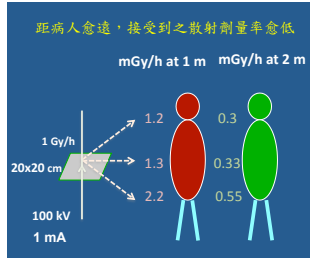
59

原則9 善用距離及屏蔽

60

增加距離

- 養成透視時與病人保持約一步距離的習慣
- 搭配使用自動注射器 (injector)，避免工作人員接受額外劑量。



Modified from IAEA Training Material, PRDIR-116.2

善用屏蔽

- 於開始檢查前先將所有屏蔽設置妥當：
 - 使用 table curtain 防護下肢
 - 使用 ceiling suspended shielding 防護頭與脖子



62

善用屏蔽

- 鉛屏風
- 鉛衣
- 鉛頸圈
- 鉛眼鏡
- 鉛手套
- Shielding PAD



<http://www.radpad.com>



0.5 mm
鉛頸圈

0.75 mm
鉛眼鏡

0.5 mm
鉛手套

鉛衣

- 鉛衣厚度一般約0.5 mm (約可衰減95%以上之輻射)
- 鉛衣應妥善放置，避免折疊，並定期測試
- 懷孕工作人員之背側亦應有鉛衣(或鉛裙)之防護



64

原則10 個人輻射監控

65

使用個人劑量計進行輻射監控

- 劑量徽章
 - 人員徽章種類包含：
 - 膠片徽章
 - 熱發光劑量計 (Thermoluminescent Dosimeter, TLD)
 - 光刺激發光劑量計 (Optically Stimulated Luminescence, OSL)
 - 目前國內所使用多為熱發光劑量計徽章，最常使用之熱發光物質為LiF。
 - 徽章應置於不易受潮或不受人為輻射照射之場所
 - 注意徽章配戴之方向性



66

劑量佩章配戴位置

國內法規



配戴於鉛衣內、身體軀幹位置

其他方式



一個劑量計



配戴於鉛衣內、腰部位置
二個劑量計：
NCRP report No.168
建議使用

佩章讀值管理原則

- 佩章劑量讀值須定期(如：每月)送主管機關認可之人員劑量評定機構度量
- 對輻射工作人員實施劑量監測結果，應依主管機關之規定記錄、保存、並告知當事人。
- 建議建立人員曝露之行動及調查基準。例如：
 - 行動基準：1mSv/月
 - 調查基準：4mSv/月

68

其他個人劑量計

- 指環劑量計：
(NCRP report No.168建議，美國德州法規)
- 一年所接受之手部劑量可能超過一年劑量限值之10% (50 mSv)時使用，例如：
 - 操作放射性物質
 - 進行介入性或心導管診療
- 敏感區域方向應面向可能接受之最高劑量側(如：X光管方向)
- 即時性劑量監控
- 一次性劑量監控
 - 劑量筆：例如懷孕病人進行診療時做為劑量監控之用



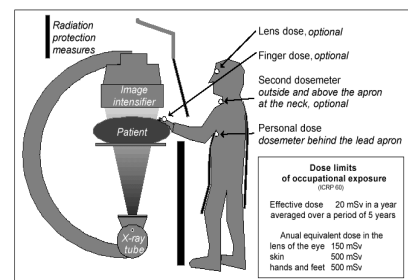
指環劑量計

敏感區

劑量筆

即時性劑量監控
劑量計

完善之輻射防護與個人劑量監控措施



Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann ICRP 2000;30 (2). Pergamon

70

其他特殊注意事項

懷孕病人接受介入性診療

- 目標：儘可能降低胎兒劑量
 - 於檢查前審慎地評估risk/benefit
 - 在可能的情況下，主射束儘量不直接照射到胎兒。
 - 於病人骨盆部位位置放置劑量計，以利評估胎兒劑量。
 - 射束由病人背側入射可比前側入射時降低胎兒劑量約20~30% (IAEA training material, NCNR-106B)

71

72

病人輻射敏感器官之輻射防護

- 利用c-arm打角度以避免主射束直接照射敏感器官：
 - 水晶體
 - 甲狀腺
 - 乳房
 - 性腺
- 使敏感器官位於主射束範圍之外：
 - 適當縮小準直儀範圍
 - 將部分乳房固定於主射束範圍外

73

病人輻射敏感器官之輻射防護

- 女性病人接收胸部之介入性診療，且須採取臥姿(prone)，則可將X光管轉至檢查床上方(病人背側)。
- 此時應使用額外的屏蔽設備以防護工作人員

74

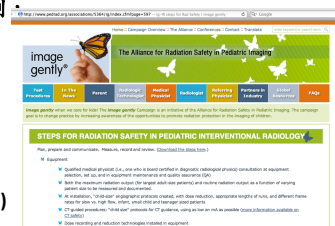
適當時機移除grid

- 使用grid：
 - 降低散射，提升影像品質。
 - 增加劑量
- 針對體型小之病人及小兒可移除grid
- 病人劑量降低，工作人員劑量亦降低。

75

降低小兒劑量

- 遵守前述降低劑量之原則，例如：
 - 縮短透視時間
 - 降低frame rate
 - 縮小準直儀範圍
- 適當麻醉
- 必要時移除grid (<20公斤)
- 可參考Image gently網站



76

總結

- 原則1.** 較厚體型會增加入射表面劑量
- 原則2.** 工作人員應站在影像接收裝置側
- 原則3.** 管球應設置於病床下
- 原則4.** 應盡量增加管球與病人間距
- 原則5.** 縮短病人與影像接收裝置的距離
- 原則6.** 減少使用放大功能
- 原則7.** 使用準直儀限制照野
- 原則8.** 減少曝露時間
- 原則9.** 善用距離及屏蔽
- 原則10.** 個人輻射監控

77

**Thank you for
your attention!**

作者群

黃怡璇，林口長庚紀念醫院
廖彥朋，署立雙和醫院
關婉君，和信治癌中心醫院
蔡惠予，長庚大學
劉鶴齡，長庚大學

78