

輻射防護概論

陳建全

台灣醫學物理公司

www.tmpinc.com.tw



陳建全

■ 學歷

- 陽明大學醫放系 學士
- 成功大學醫工所 碩士

■ 專業證書

- 教育部部定講師
- 醫學物理師證書(放射診斷)
- 醫事放射師證書
- 輻射防護師證書

■ 研究成果

- SCI 第一作者1篇
- SCI 共同作者11篇
- 研究計畫主持人1件
- 研究計畫共同主持人6件

■ 經歷

- 台灣醫學物理公司
 - 總經理
- 長庚大學
 - 兼任講師
- 林口長庚紀念醫院
 - 磁共振造影中心醫學物理師
 - 影像診療部醫學物理師
- 中華民國醫學物理學會
 - 常務監事
- 桃園縣醫事放射師公會
 - 理事
 - 總幹事
- 考試院醫事放射師檢覈考試
 - 命題/審題委員
- 國健署乳篩計畫
 - 醫學物理組委員
- 原能會醫療曝露品質保證計畫
 - 講師
 - 命題及口試委員

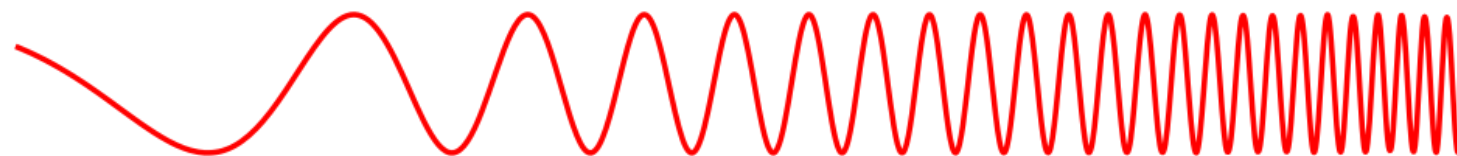
[輻射] 基本概念

名詞：游離輻射、非游離輻射

動詞：以電磁波形式傳遞、發散

電磁波

能否穿透
地球的大氣層



輻射種類
波長 (m)

無線電
 10^3

微波
 10^{-2}

紅外線
 10^{-5}

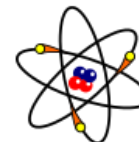
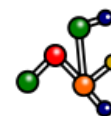
可見光
 0.5×10^{-6}

紫外線
 10^{-8}

X 射線
 10^{-10}

伽馬射線
 10^{-12}

波長的尺度大小
約相當於



建築高度

人類的身高

蝴蝶

針尖

原蟲

分子

原子

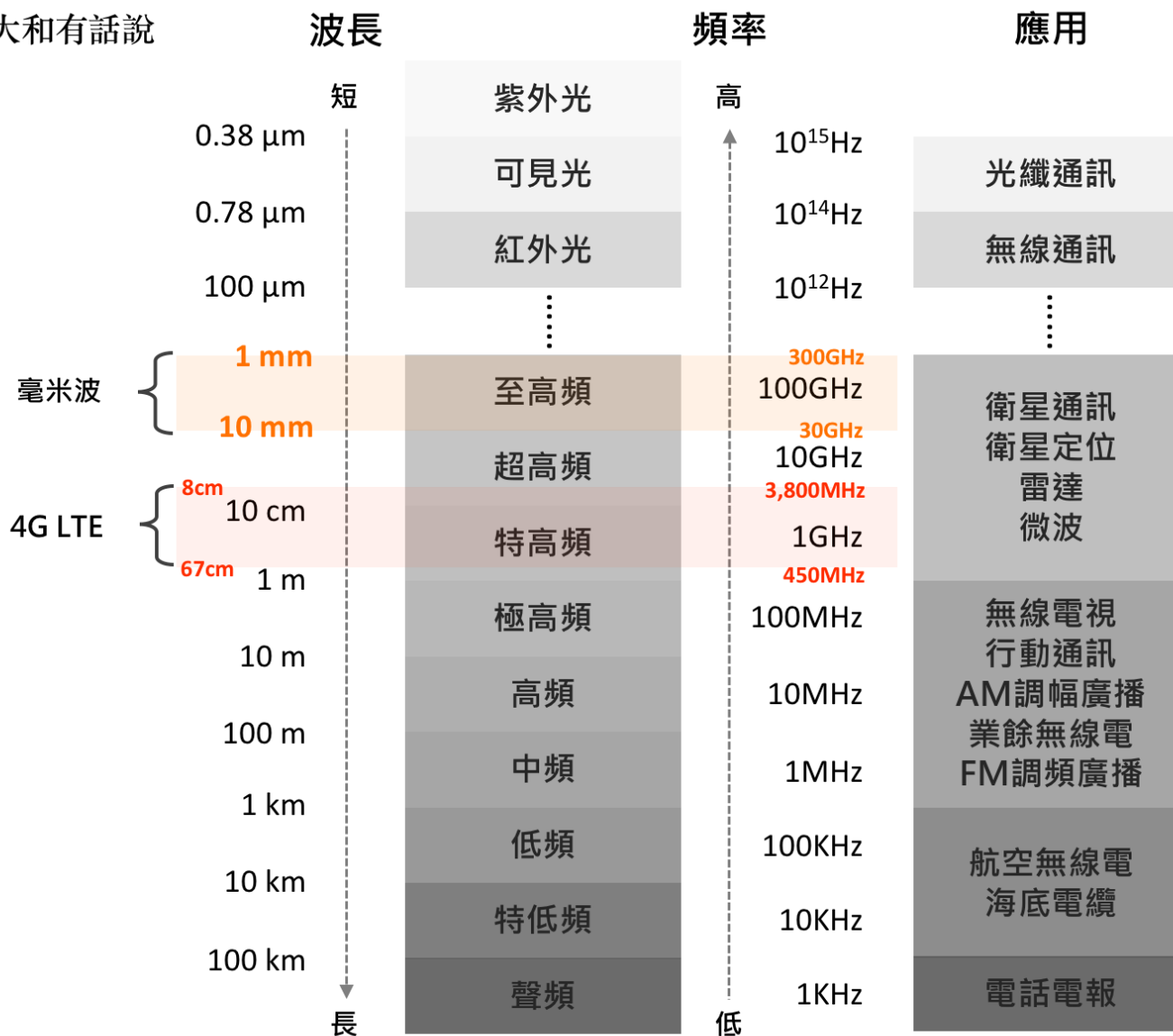
原子核

頻率 (Hz)

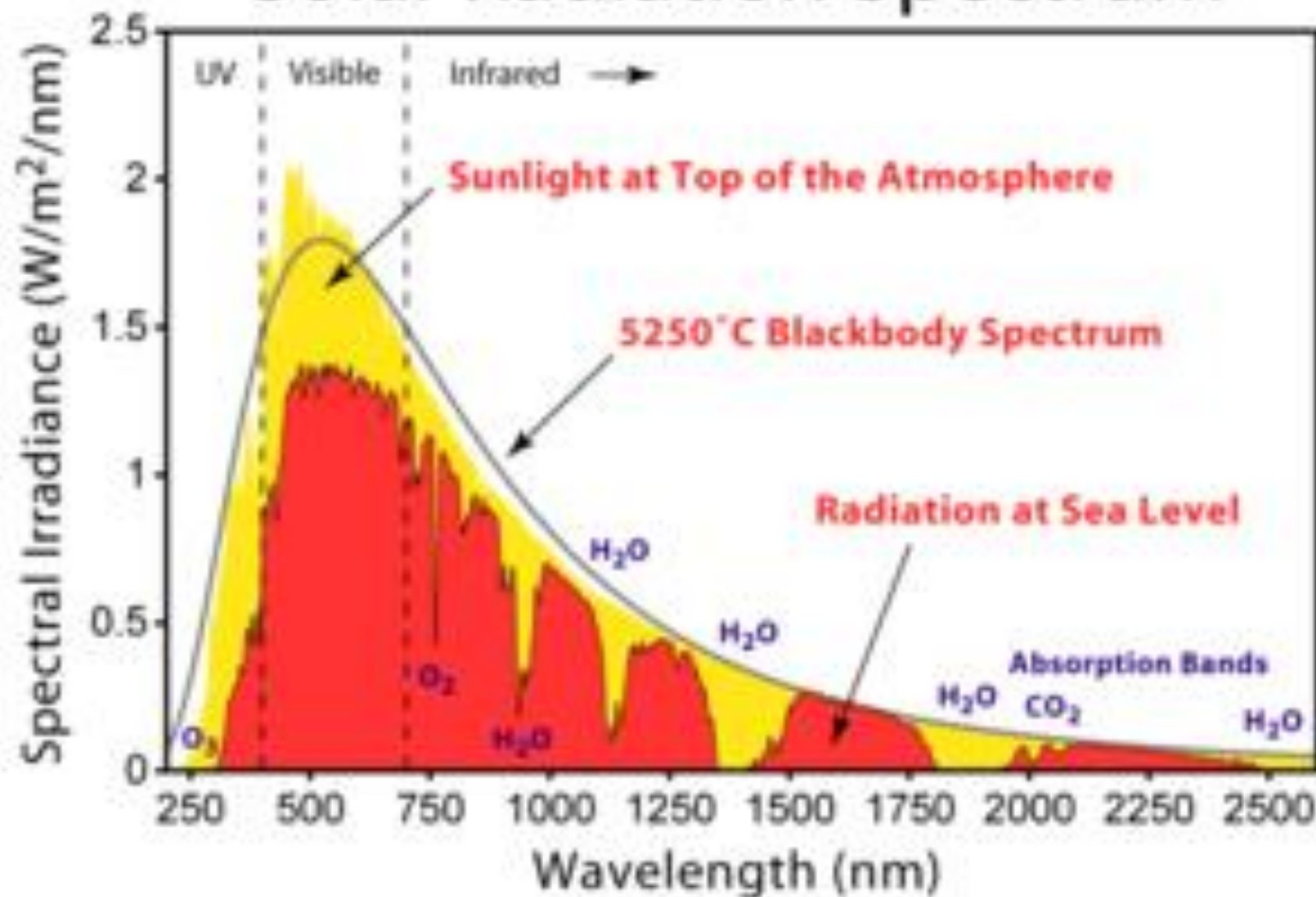


通訊電磁波頻譜

Created by 大和有話說



Solar Radiation Spectrum



輻射防護基本概念

General Concepts of Radiation Protection

1. ALARA原則

As Low As Reasonable Achievable Principle

6. 群體輻射防護

Public Radiation Protection

2. 時間、距離、屏蔽

Time、Distance、Shielding

7. 法規架構

Regulatory Frameworks

3. 輻射監測與劑量評估

Radiation Monitoring and Dosimetry

8. 緊急事態備案

Emergency Preparedness

4. 職業曝露防護

Occupational Radiation Protection

9. 教育與訓練

Education and Training

5. 醫療曝露防護

Medical Radiation Protection

10. 風險溝通

Risk Communication

輻射

- 輻射是一種具有能量的波或粒子，如**電磁波**（如無線電波、微波、可見光、紫外線、X射線、加馬射線等）以及從放射性物質發射出來的微小**粒子**(如阿伐粒子、貝他粒子、中子等)都稱為輻射。
- 其中**能量較低**的，如無線電波、微波、可見光、超音波、紫外線，稱為「**非游離輻射**」；
- 而**能量較高**的，如X射線與加馬射線，以及粒子輻射則屬於「**游離輻射**」。



電腦斷層掃描儀



血管攝影X光機



行李檢查X光機

輻射警示標籤

原子能委員會 →



核能安全委員會
Nuclear Safety Commission

自2023/9/27起

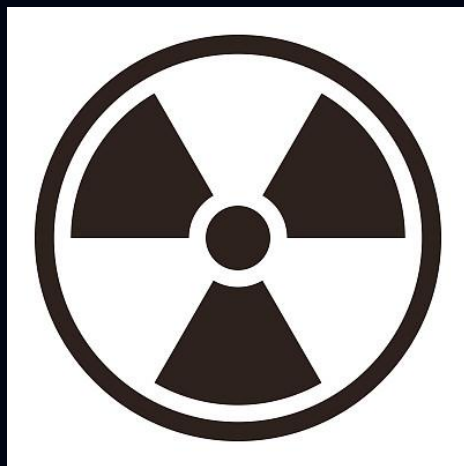
注意事項 (本標籤請張貼於設備明顯位置)

1. 本設備含有輻射源，其出口、轉讓、遷移、改裝、停用及報廢等輻射作業，均應取得核能安全委員會許可，始得為之。
2. 本設備應由取得合格資格之人員進行操作。



違反上述情事者，將依「游離輻射防護法」予以處分。

其他常見輻射警示標誌



生活中的輻射來源

■ 自然背景輻射

- 宇宙射線
- 土壤或岩石
- 食物與人體
- 氡氣
- 人造產物



自然界中的鉀，約有0.0117%是有放射性的同位素鉀-40

■ 醫療曝露

- 一般X光機
- 透視X光機
- 電腦斷層掃描儀
- 光子治療機/直線加速器
- 質子治療機
- 重粒子治療機

■ 職業曝露

- 醫師/醫事放射師
- 輻射設備操作人員
- 核電廠工作人員

一般游離輻射

一般游離輻射

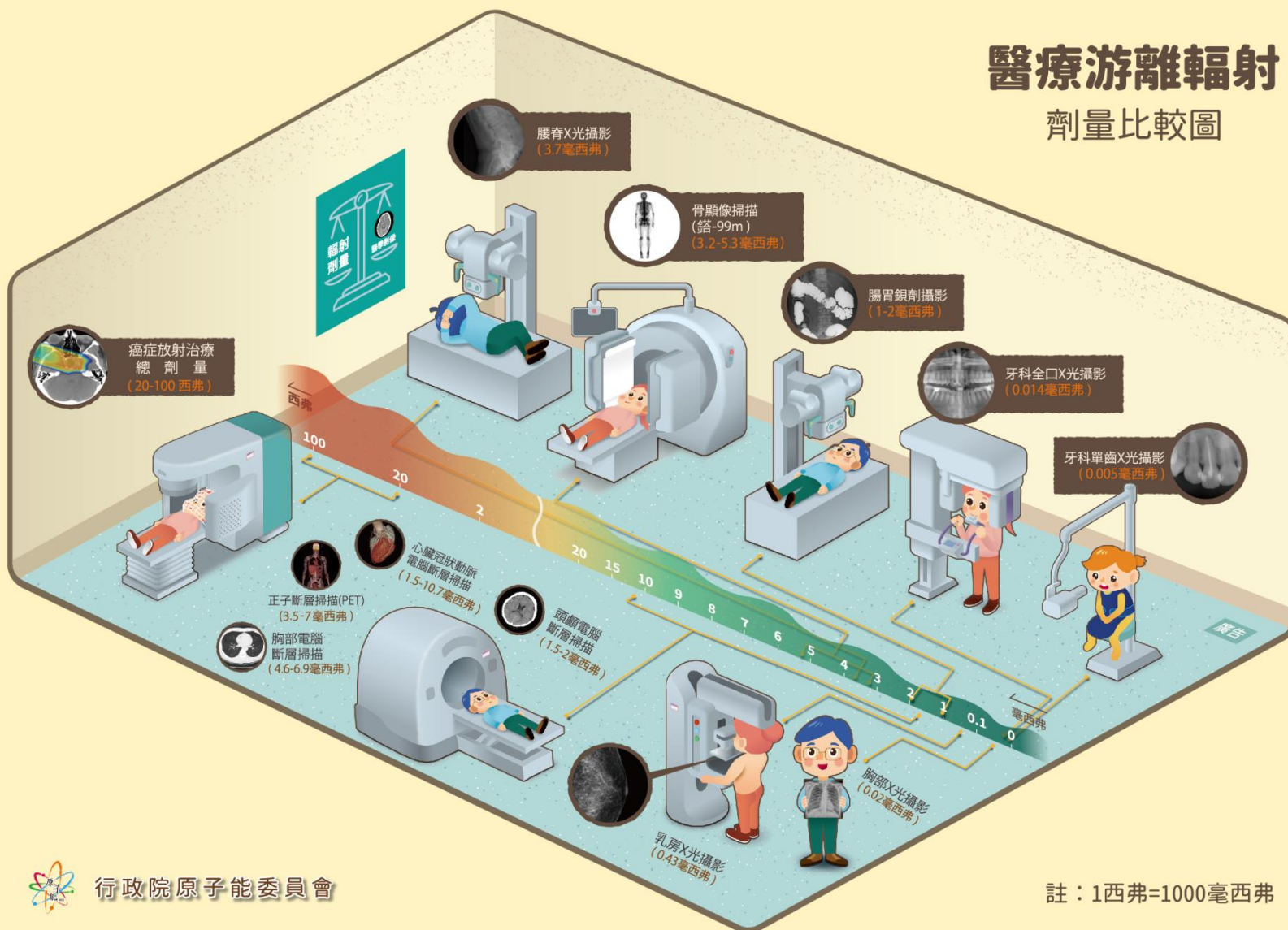
劑量比較圖



醫療游離輻射

醫療游離輻射

劑量比較圖



個人輻射劑量

一般游離輻射

臺灣每人接受天然背景
輻射劑量 **1.6 毫西弗/年**

臺北往返紐約一趟
0.092-0.14 毫西弗

游離輻射防護法

一般民眾年劑量限值
(不含天然背景輻射及醫療劑量)
1 毫西弗 / 年

輻射工作人員年劑量限值
20 毫西弗 / 年

職業曝露

醫療游離輻射

牙科單齒X光攝影	0.005	毫西弗
牙科全口X光攝影	0.014	毫西弗
胸部X光攝影	0.02	毫西弗
乳房X光攝影	0.43	毫西弗
腸胃鋇劑攝影	1 - 2	毫西弗
腰脊X光攝影	3.7	毫西弗
頭顱電腦斷層掃描	1.5 - 2	毫西弗
胸部電腦斷層掃描	4.6 - 6.9	毫西弗
心臟冠狀動脈電腦斷層掃描	1.5 - 10.7	毫西弗
骨顯像掃描(鎝-99m)	3.2 - 5.3	毫西弗
正子斷層掃描(PET)	3.5 - 7	毫西弗
癌症放射治療總劑量	20 - 100	西弗

1 西弗 = 1000 毫西弗

Effective and organ doses for DXA

Examination	Effective dose (mSv)	Organ dose (mGy)	Relevant organs
Adult spine DXA	0.013	0.003	BM, ovaries
Adult hip DXA	0.009	0.005	LLI
Paediatric spine DXA	0.027	0.008	Ovaries
(5-year-old child, scan length 11.7 cm)		0.007	Stomach
Paediatric hip DXA	0.022	0.015	Testes
(5-year-old child, scan length 9.0 cm)		0.009	LLI
Paediatric spine DXA	0.021	0.006	Ovaries
(10-year-old child, scan length 14.5 cm)		0.005	Stomach
Paediatric hip DXA	0.018	0.010	Testes
(10-year-old child, scan length 12.4 cm)		0.008	LLI
Thoracic spine AP radiograph	0.4	0.8	Lungs
Thoracic spine LAT radiograph	0.3	1.2	Lungs
Lumbar spine AP radiograph	0.7	2.5	Stomach
Lumbar spine LAT radiograph	0.3	2.3	Liver

AP anterior-posterior, *LAT* lateral, *BM* bone marrow, *LLI* lower large intestine

Radiation exposure in X-ray-based imaging techniques used in osteoporosis, Eur Radiol (2010) 20:2707–2714

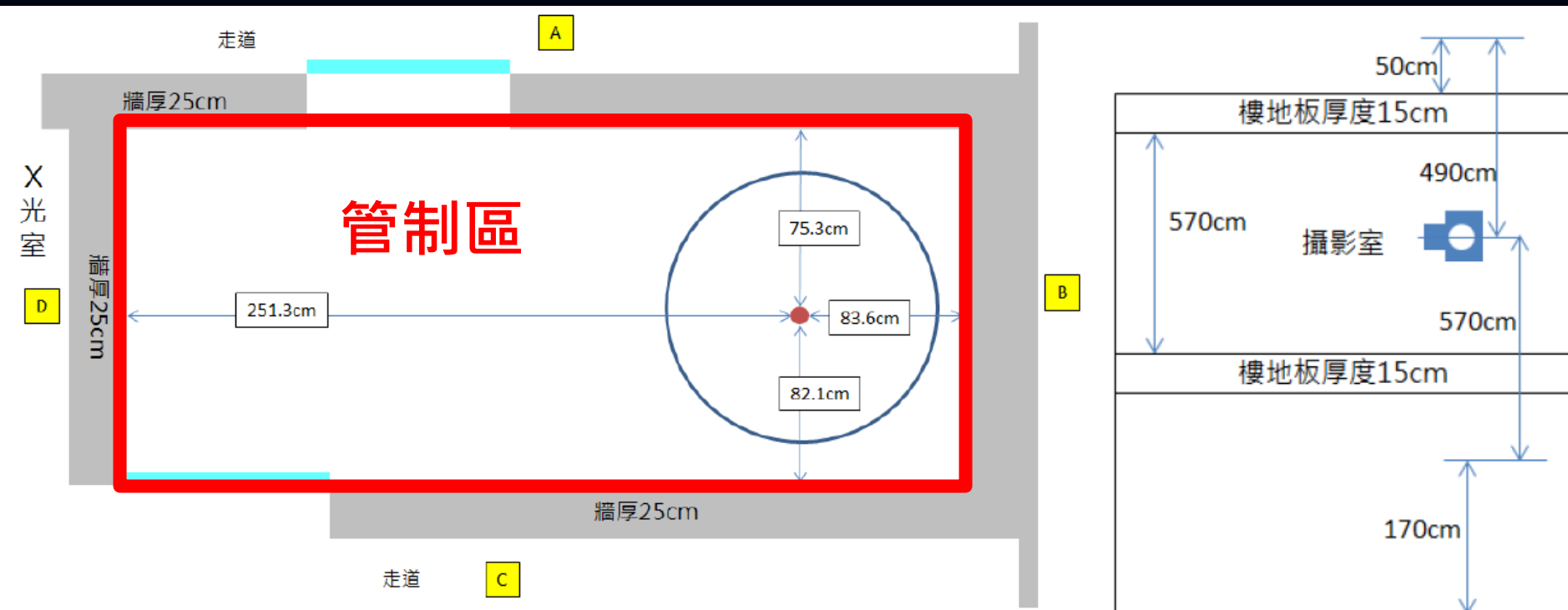
管制區

法規限值： $< 10 \mu\text{Sv/hr}$



非管制區

法規限值： $\leq 0.5 \mu\text{Sv/hr}$



管制區以外的所有地區為非管制區

一般民眾年劑量限值： $1 \text{ 毫西弗/年} \rightarrow (1000 \mu\text{Sv/y}) / (2000 \text{ hrs/y}) = 0.5 \mu\text{Sv/hr}$

臺灣每人接受天然背景：輻射劑量 1.6 毫西弗/年
 $\rightarrow (1600 \mu\text{Sv/hr}) / (365 \times 24 \text{ hrs/y}) = 0.18 \mu\text{Sv/hr}$

重點！重點！重點！

游離輻射防護法

一般民眾年劑量限值
1 毫西弗 / 年

法規防護目標：

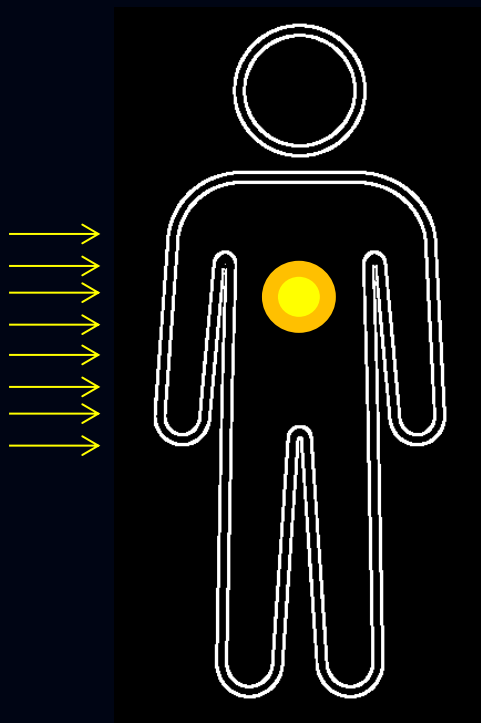
1. 預防新輻射源避免人體接收過多輻射劑量
2. 檢驗已知輻射源避免人體接收過多輻射劑量

(不含天然背景輻射及醫療劑量)

輻射作業 原則：

1. 應防止確定效應之發生及抑低機率效應之發生率
2. 符合下列規定：
 - a. 利益須超過其代價
Justification
 - b. 考慮經濟及社會因素後，一切曝露應合理抑低
Optimization
 - c. 個人劑量不得超過輻防標準之限定值
Dose Limitation

游離輻射防護安全標準



機率效應與確定效應



發生機率與輻射劑量成正比

嚴重程度
與輻射劑量成正比



日常生活中的輻射源

鉀、碘、氡、鋇、氬

放射性物質與人體

放射性物質

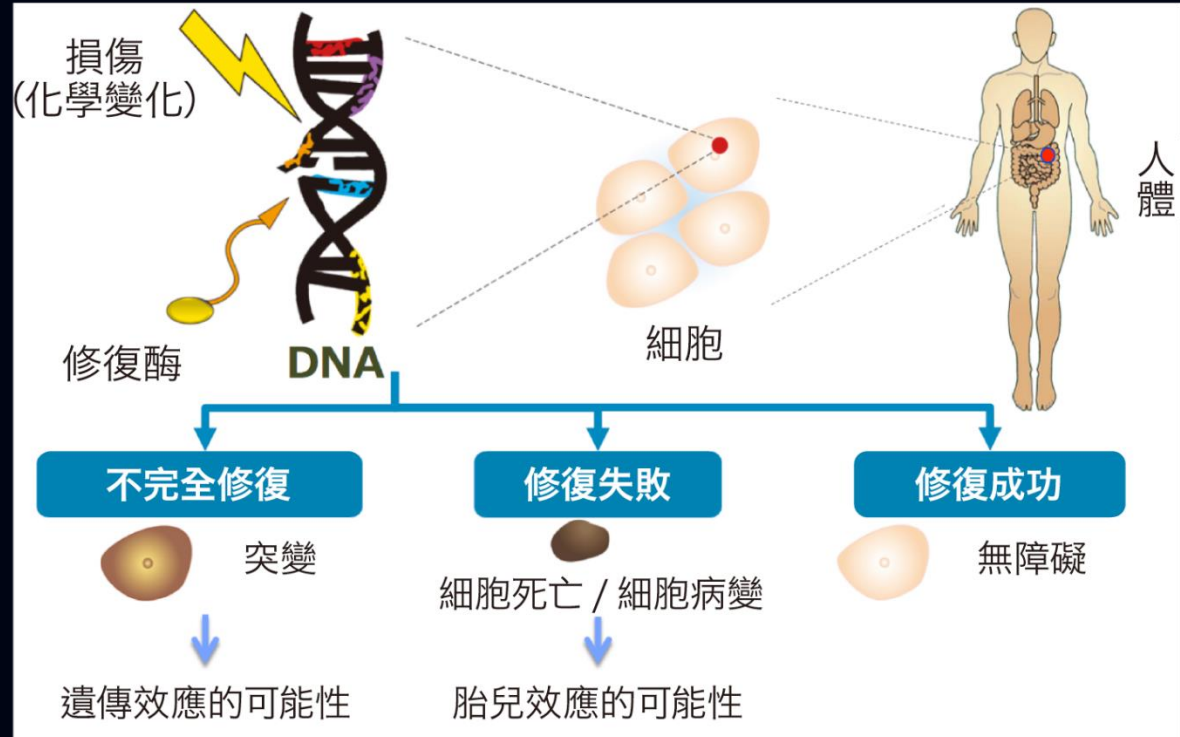
活度(放射性，貝克/居禮)
強度(劑量，MeV/戈雷)
輻射類型(α 、 β 、 γ ...)
物理半衰期(持續性)

人體吸收代謝

吸收途徑(呼吸、飲食)
吸收器官
排出途徑
生物半衰期(持續性)

輻射傷害

有效半衰期(持續性)
約定有效劑量(西弗)
確定效應與機率效應
個別特異性



鉀，是一種化學元素，
化學符號為K，原子序
數為19，原子量為
39.0983 u。



早安健康

補鉀護血管 「鉀」飽防高血壓！
營養師推薦香蕉、馬鈴薯這樣吃

NOW健康

**香蕉「高鉀低鈉」
重訓迷最愛**

營養師：食用要謹「腎」

自然界中鉀的同位素

同位素	豐度	半衰期 ($t_{1/2}$)	衰變		
			方式	能量 (MeV)	產物
^{39}K	93.2581%	穩定，帶20粒中子			
^{40}K	0.0117%	1.248×10^9 年	β^-	1.311	^{40}Ca
			ϵ	1.505	^{40}Ar
			β^+	0.483	^{40}Ar
^{41}K	6.7302%	穩定，帶22粒中子			

吃外食容易鈉超標！

4大高鉀水果調整電解質



美濃瓜

除了鉀離子也含有維生素A、維生素C、類胡蘿蔔素等豐富的營養素

鉀含量

約350毫克
1/4顆



釋迦

有豐富的鉀、鈣、鎂、磷等礦物質，但同時也特別甜，要注意攝取量

鉀含量

約390毫克
每100公克



榴槤

富含維生素B群及鉀、錳、銅等礦物質，但要注意榴槤的熱量也不低

鉀含量

約400毫克
一瓣



香蕉

富含鉀、鎂、色胺酸等營養素，也容易消化，是很好補充營養的水果

鉀含量

約400毫克
一根



香蕉等效劑量

Banana Equivalent Dose · BED

1香蕉等效劑量=0.0778 微西弗 (μSv)

1 毫西弗 = 1000 微西弗

1 mSv = 1000 μSv

$1 \times 10^{-3} \text{ Sv} = 1 \times 10^{-6} \text{ Sv}$

- 鉀-40的半衰期長達12億5千萬年
- 天然鉀當中約有百萬分之117(0.0117%)的天然放射性的同位素鉀-40
- 1根香蕉的輻射劑量，相當於每日的天然背景輻射的百分之一
- 核電站對周邊環境的最大允許輻射暴露是每年2500根香蕉等效劑量 ($250 \mu\text{Sv}=0.25 \text{ mSv}$)
- 致死劑量是 35,000,000 根香蕉等效劑量(3500 mSv)
- 其他含鉀非常豐富的食物（如葵花籽、腰豆、馬鈴薯、巴西豆等）

可以吃？毒物研究中心主任：輻射有分兩種

商周 / 生活 / 養生保健

香蕉裡含有輻射，為何可以吃？毒物研究中心主任：輻射有分兩種



香蕉含有輻射，我們還能吃嗎？

香蕉是一種富含鉀的水果，而自然界中的鉀，約有0.0117%是有放射性的同位素鉀-40，換句話說，富含鉀的香蕉裡面絕對會有少量的放射物質鉀-40。一根香蕉含有約0.5公克的鉀。

根據目前的科學證據顯示，我們每吃一根香蕉可能攝取到0.0778微西弗的輻射，直接以0.1微西弗來計算的話，等於一口氣吃下3百根香蕉，才可能對健康造成危害。也就是說，自然界雖然存在許多天然輻射，但劑量非常的低，不足以對健康造成危害。

此外，每人每年的輻射容許攝取量為1毫西弗（相當於1000微西弗），依照農委會在2014年調查國人一年平均攝取魚類食品的總量為19.09公斤，以目前魚類的輻射限量標準來看（每公斤銻-134與-137相加後為100貝克），代表一年可以吃到8百公斤的魚類，相當於一天吃下2.3公斤，以一般人的食用量來說，根本不需要擔心。

↓

$$0.1 \mu\text{Sv} \times 300 = 30 \mu\text{Sv} = 0.03 \text{ mSv}$$

？不知從何而來？

↓

一般民眾年劑量限值
1 毫西弗 / 年

吃魚 = 輻射作業？

多少的輻射劑量會有傷害？

一般鉀

(101~200 mg)

橘子(111) 金棗(166)

葡萄(122) 水梨(184)

蘋果(126) 荔枝(185)

紅柿(138) 柳丁(189)

香吉士(151) 櫻桃(189)

文旦(152) 百香果(190)

榴槤(154) 黃西瓜(192)

芒果(159)

高鉀

(201~300 mg)

加州李(209) 白柚(249)

鳳梨(211) 龍眼(254)

蓮霧(214) 香蕉(257)

枇杷(216) 金黃奇異果(277)

李子(225) 紅肉火龍果(284)

綠棗子(226) 檸檬(285)

土芭樂(233) 白肉火龍果(294)

釋迦(234) 水蜜桃(298)

極高鉀

(> 300 mg)

紅西瓜(303) 美濃瓜(558)

草莓(318) 黃蕃茄(683)

奇異果(320) 哈密瓜(890)

葡萄柚(338)

紅蕃茄(350)

酪梨(366)

木瓜(372)

桃子(440)



一份水果的含鉀量 (mg)
(8分滿的碗)



張維文醫師



飲食宜適量均衡，不需要怕天然輻射

醣類、脂肪對健康影響更嚴重

碘，是一種化學元素，
化學符號為 I，原子序
數為 53，原子量為
126.90447u。



碘有37種同位素

同位素	豐度	半衰期 ($t_{1/2}$)	衰變		
			方式	能量 (MeV)	產物
¹²³ I	人造	13.2232 小時	ϵ	1.228	¹²³ Te
¹²⁴ I	人造	4.1760 天	β^+	2.138	¹²⁴ Te
¹²⁵ I	人造	59.40 天	ϵ	0.184	¹²⁵ Te
¹²⁷ I	100%	穩定，帶74粒中子			
¹²⁹ I	痕量	1.614×10^7 年	β^-	0.187	¹²⁹ Xe
¹³¹ I	人造	8.0249 天	β^-	0.971	¹³¹ Xe
¹³⁵ I	人造	6.58 小時	β^-	2.634	¹³⁵ Xe



衛生福利部國民健康署

<https://www.hpa.gov.tw/Pages/ashx/File/Fil...>

膳食營養素參考攝取量2018 碘 - 衛生福利部國民健康署

碘在人體內獨一的功能就是合成**甲狀腺素**：三碘甲狀腺素(triiodothyronine, T3)、四碘甲狀腺素(tetra-iodothyronine, thyroxine, T4)，以及其前驅分子碘化酪胺酸(iodotyrosine)。甲狀腺素 T3 的分子量是 651.0，碘佔59%；T4 的分子量是776.9，碘佔65%。

甲狀腺素的生理作用主要是**調節能量代謝以及發育**。在胚胎與胎兒發育階段，甲狀腺素對腦部的發育和成熟影響最大，其它目標器官還有肌肉、心臟、腎臟和腦下垂體等。

在代謝方面，甲狀腺素可調節細胞氧化產能反應、產熱作用、中間代謝、蛋白質與酵素合成、脂解作用，因而影響組織的氧氣消耗量，**提高基礎代謝率**，促進褐脂的適應性產熱作用(adaptive thermogenesis)，調節食慾、小腸吸收、攝食量與體重。



營養N次方

一般健康人的碘建議攝取量 13 歲以上皆為**每天 150 微克**、孕婦每天 225 微克、哺乳期產婦則必須到 250 微克



含碘食物有哪些？



HeHO

食物的碘含量排行榜



Heho營養師

食物	每份重量	(每份微克)
		碘含量
① 海藻、紫菜(乾)	10克	232 mcg
② 烤鱈魚	3盎司 (85公克)	158 mcg
③ 希臘優格(原味脫脂)	1杯 (245公克)	116 mcg
④ 牡蠣(熟) 	3盎司 (85公克)	93 mcg
⑤ 牛奶(脫脂)	1杯	85 mcg
⑥ 加碘食鹽	1.5克 (約1/4茶匙)	76 mcg
⑦ 魚條(熟) 	3盎司 (85公克)	58 mcg
⑧ 雞蛋(熟)	1顆	26 mcg
⑨ 冰淇淋、巧克力	1/2杯	21 mcg
⑩ 肝臟、牛肉(熟) 	3盎司 (85公克)	14 mcg

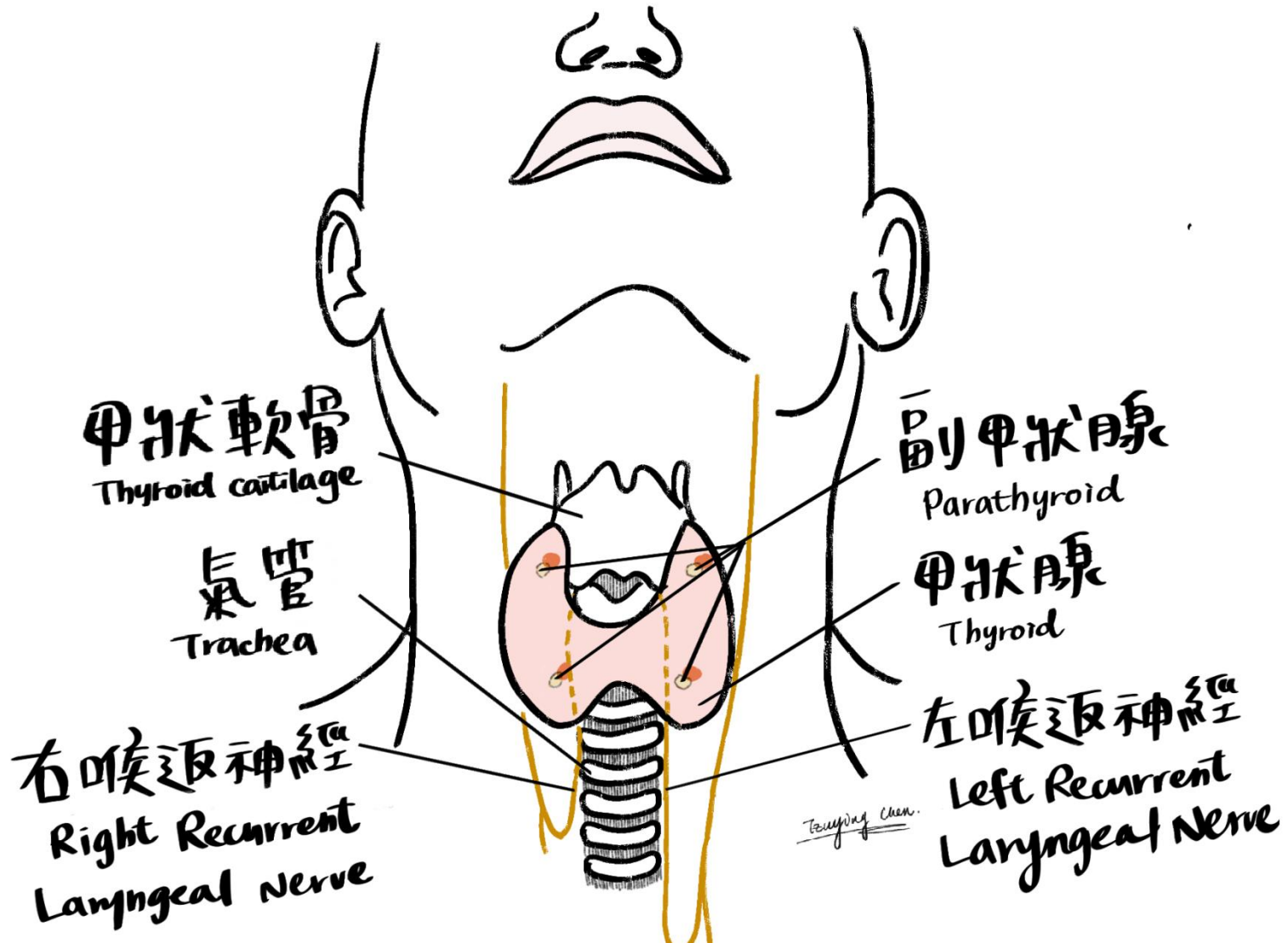
LINE

Heho健康



$\text{mcg} = \mu\text{g} = 10^{-6} \text{ g}$

甲狀腺



甲狀腺異常

甲狀腺亢進的6大系統症狀

HEHO



眼部病變

- ▶ 眼球突出
- ▶ 有異物感
- ▶ 視力模糊、畏光



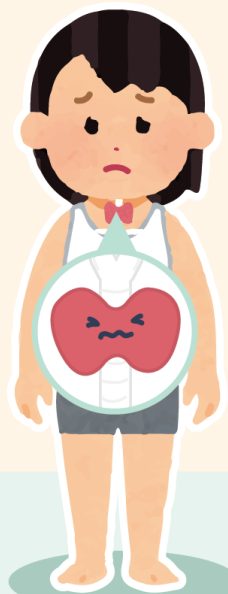
生殖系統

- ▶ 月經異常



消化系統

- ▶ 食慾增，體重降
- ▶ 偶有腹瀉



神經肌肉系統

- ▶ 容易緊張、焦慮
- ▶ 肌肉無力痙攣
- ▶ 怕熱、口乾舌燥



皮膚與指甲

- ▶ 真皮層增厚
- ▶ 指甲甲床鬆脫



心肺血管系統

- ▶ 心悸、心律不整
- ▶ 胸悶
- ▶ 血壓急速上升

f Heho健康

抽血檢查：
甲狀腺功能檢查
放射免疫分析檢驗

COOL
HEALTH

甲狀腺功能低下7徵兆

資料來源：
美國耶魯大學醫學博士
Rebecca Breslow

f 潮健康



情緒突然低落



情緒障礙或憂鬱問題
在女性族群較常見



總是感覺疲憊

新陳代謝將下降，
身體發出疲憊訊號

髮質/皮膚乾燥



皮膚與髮質乾燥
且頭髮較稀疏



忍受不了寒冷

身體調節溫度機制
會出現問題

體重居高不下



新陳代謝變慢，
卡路里消耗減少



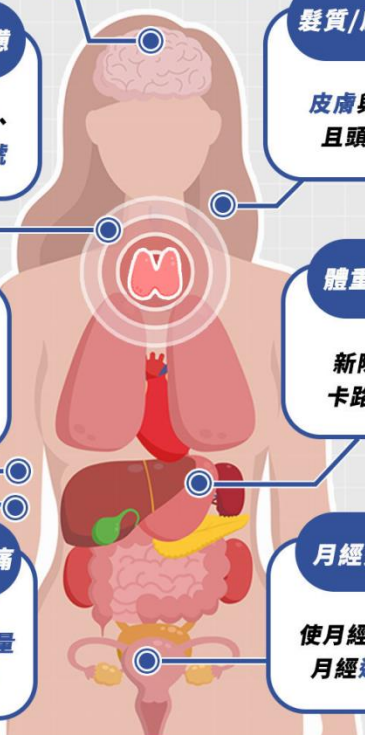
肌肉/關節疼痛

肌肉質量與身體力量
可能會出現下降

月經週期紊亂



使月經量突然增加
月經週期不規律



甲狀腺功能檢查

甲狀腺刺激荷爾蒙 (TSH) 標準值：0.3~4.5 IU/ml
由腦下垂體所分泌之荷爾蒙，可刺激甲狀腺分泌各種甲狀腺素。檢查TSH可篩檢甲狀腺功能，通常必須和甲狀腺素 (T4) 一起判讀。一般而言，**甲狀腺功能亢進時，TSH下降**；功能低下時，TSH上升。

四碘甲狀腺素 (T4) 標準值：4.5-12.5 mg/ml
T4是一種甲狀腺激素，分析其血中含量，可知甲狀腺功能，最好和TSH一起判讀。**增加時**，可能為急性甲狀腺炎、**甲狀腺功能亢進**、妊娠、服用大劑量甲狀腺內分泌素。減少則可能為甲狀腺功能減退，服用降血壓藥或甲狀腺抑制劑。

三碘甲狀腺 (T3) 標準值：45-137 mg/ml
高值：甲狀腺機能亢進、毒性甲狀腺腫、T3治療中病人、Grave's disease。
低值：甲狀腺功能不足、使用T4治療、Hashimoto's disease、服用類固醇或上了年紀的人、甲狀腺切除。

高雄市教育局



放射免疫分析(RIA)檢驗

代碼	檢驗項目	中文	縮寫	參考值(單位)
9320102	Thyroxine	四碘甲狀腺素	T4	5.38-12.40 µg/dl
9320103	Triiodothyroxine	三碘甲狀腺素	T3	78-182 ng/dl
9320105	Thyroid Stimulating Hormone	甲狀腺促進素	TSH	0.17-4.05 mIU/L (111/07/20起適用)
9320106	Thyroglobulin	甲狀腺球蛋白	Thyroglobulin(TG)	<50.00 ng/ml
9320107	Anti-TSH receptor	TSH受體抗體	Anti-TSH receptor (ATR)	<1.5 U/L
9320108	Free Thyroxine	游離甲狀腺素	Free T4	0.89 -1.79 ng/dl

成大醫院核子醫學科

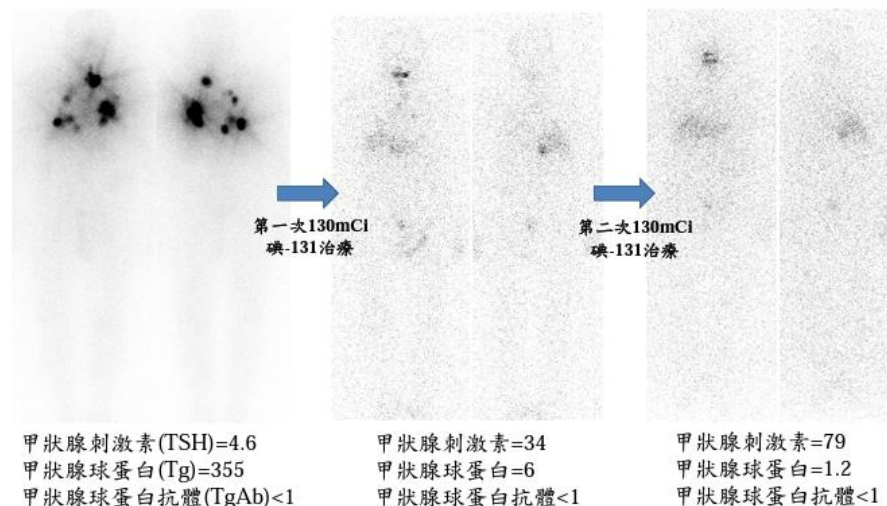
T4是人體最主要且含量最多的甲狀腺荷爾蒙，血清中的T4超過99.9%和蛋白質結合（主要是甲狀腺結合球蛋白，TBG），**不到0.1%的T4**是以游離的型式存在，即為Free T4 (FT4)。雖然含量很少，卻**能發揮實質甲狀腺素的功能**。當體內的蛋白質因疾病或藥物影響而發生變動時，TBG常會受到波及而發生改變，使得T4的濃度也跟著TBG平行變化，這種非甲狀腺因素引起的T4變化，常造成臨床上的誤判。反觀FT4便沒有這種困擾，當T4隨著TBG變動時，FT4依然會維持在狹窄的正常範圍內，不出現大幅度的改變。例如懷孕、雌激素治療、口服避孕藥等情形，TBG濃度會上升，T4也跟著上升，但FT4會維持正常。

碘-131治療

I-131 Treatment



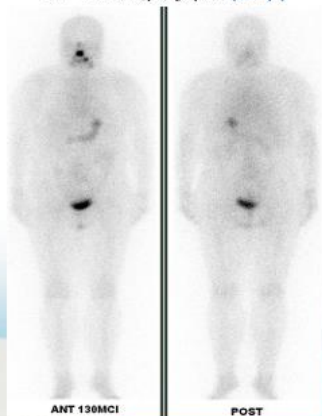
75歲男性，乳突型甲狀腺癌合併多處肺轉移



65歲女性，乳突型甲狀腺癌疑似去分化

碘-131治療後掃描(正常)

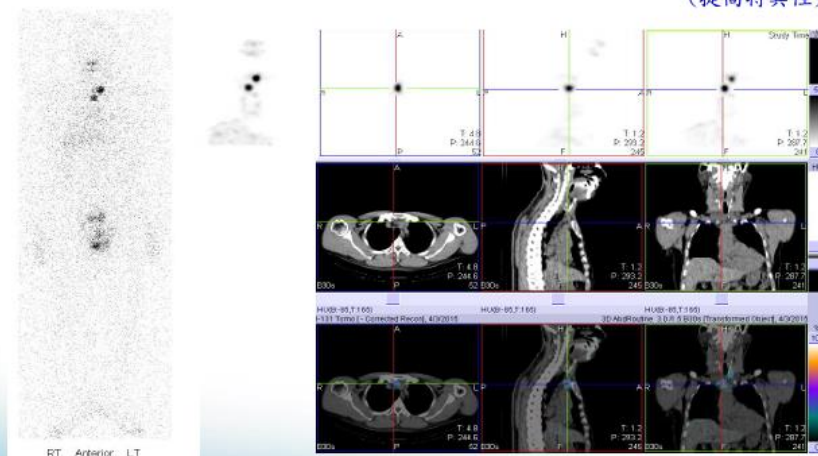
正子造影檢查(異常)



TSH=115 uIU/mL,
Tg= 0.23 ng/mL,
Tg Ab(-)

碘-131治療後掃描正常，但正子造影檢查異常(箭頭處)，病理證實轉移甲狀腺癌。

利用單光子斷層造影進一步定位攝取位置及原因(提高特異性)



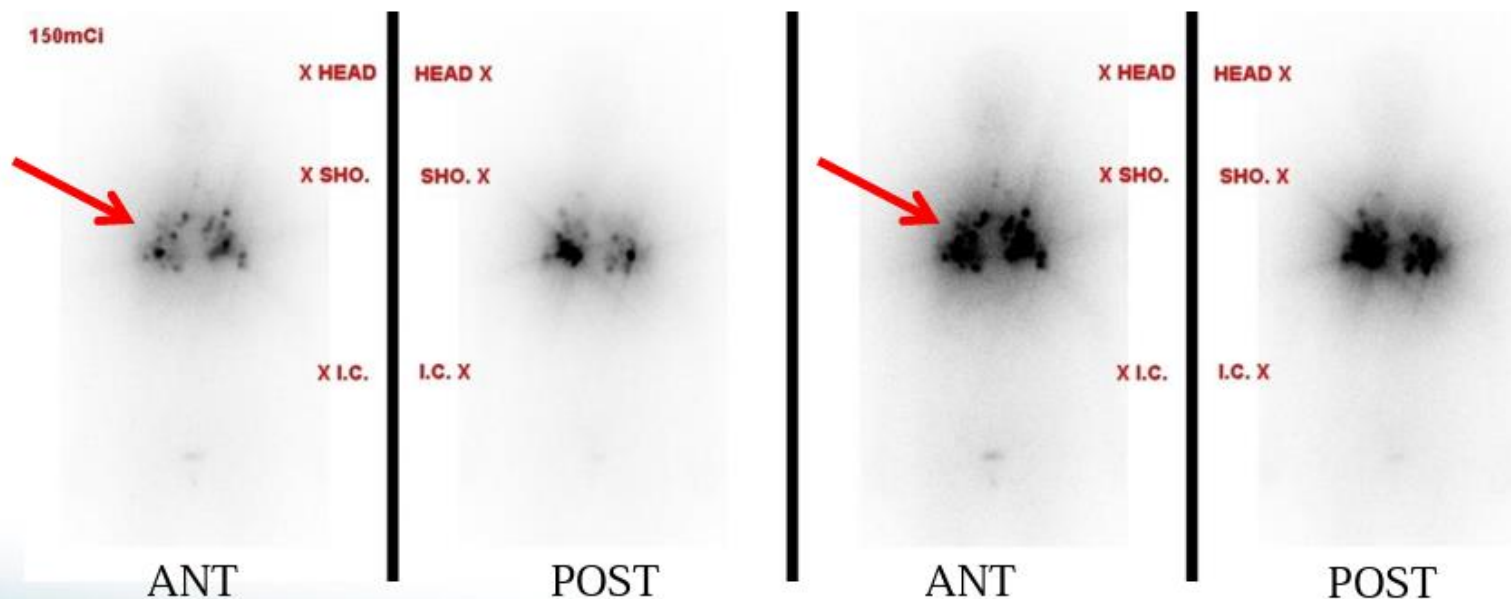
碘-131治療劑量 > 30 mCi 時，需住院治療

$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} \rightarrow 30 \text{ mCi} = 1,110,000,000 \text{ Bq} = 1.11 \text{ GBq}$

臺北榮民總醫院

★碘-131全身掃描：

主要為碘-131治療後的腫瘤評估與追蹤，檢查時間約40分鐘



影像報告

(可見碘-131攝取位置如箭頭所指，此為有肺部轉移之患者)

病患本身的輻射量在住院的三日內有76%已隨尿液排出
1米劑量率 $< 11 \text{ mR/h}$ 即可外釋
(新規)對旁人之有效等效劑量 < 5 毫西弗(mSv)即可外釋



臺北榮民總醫院

全民就醫首選醫院

國際一流醫學中心

重點! 重點! 重點!

體外曝露輻射防護原則

時間
(Time)

曝露劑量與時間成正比

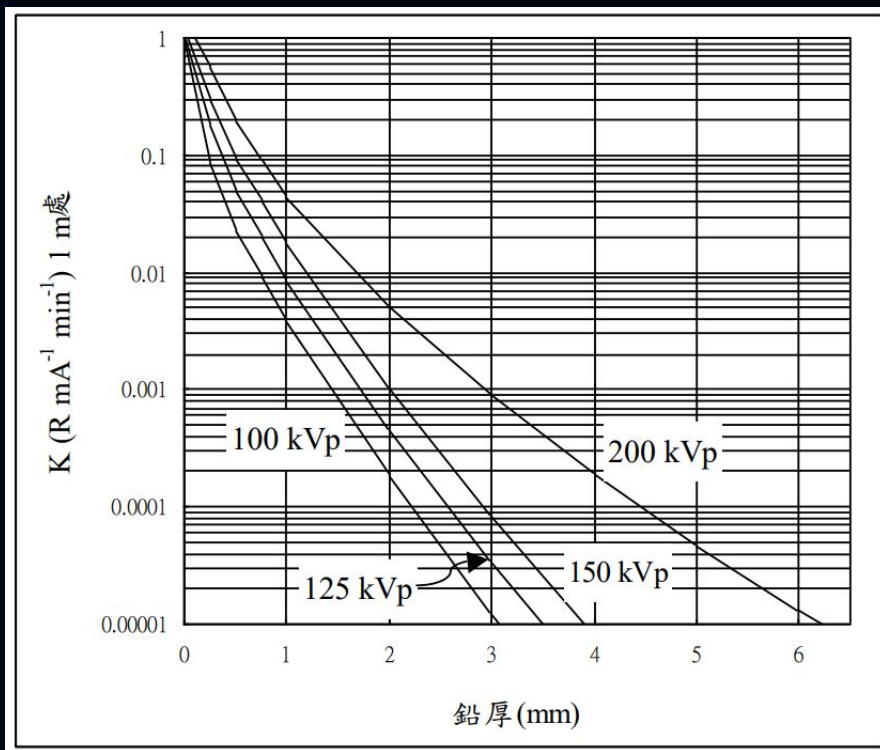
距離
(Distance)

曝露劑量與距離平方成反比

屏蔽
(Shielding)

曝露劑量與厚度指數成反比

$$I = I_0 \times e^{-\mu x}$$



日本排放福島核廢水

海鮮可以吃嗎？

海水/雨水有輻射嗎？

需要買鹽囤積嗎？

日本福島核電廠廢水

https://www.tepco.co.jp/zh-tw/decommission/progress/watertreatment/index-cn.html

日本語

ENGLISH

中文(简体)

中文(繁體/香港)

한국어



處理水 入口網站

福島第一核電廠在許多人的協助之下，正在對因事故而產生含有高濃度放射性物質的「污染水」採取對策。

本網站是告知社會大眾針對淨化污染水所含的放射性物質，以及降低風險的ALPS處理水等數據資訊和應的目前對狀況等。

[有關「ALPS 處理水」的標示](#)

[關於公開招募氣分離技術的呼籲](#)

最新消息

2023.5.30

發行了「多種種除去設備等處理水（ALPS處理水）海洋排放的輻射影響評估結果（建設階段）」摺頁冊（2023年5月修訂）
[詳情請點選此處](#)

2023.4.21

發行了「關於ALPS處理水，我們想告訴您的事」頁面
[詳情請點選此處](#)

[通知一覽請見此處](#)

ALPS處理水 排放入海的狀況

① ALPS處理水的狀況

[詳情請點選此處](#)

② 測量、確認用設備狀況

[詳情請點選此處](#)

https://www.tepco.co.jp/zh-tw/decommission/progress/watertreatment/index-cn.html

日本福島核電廠廢水

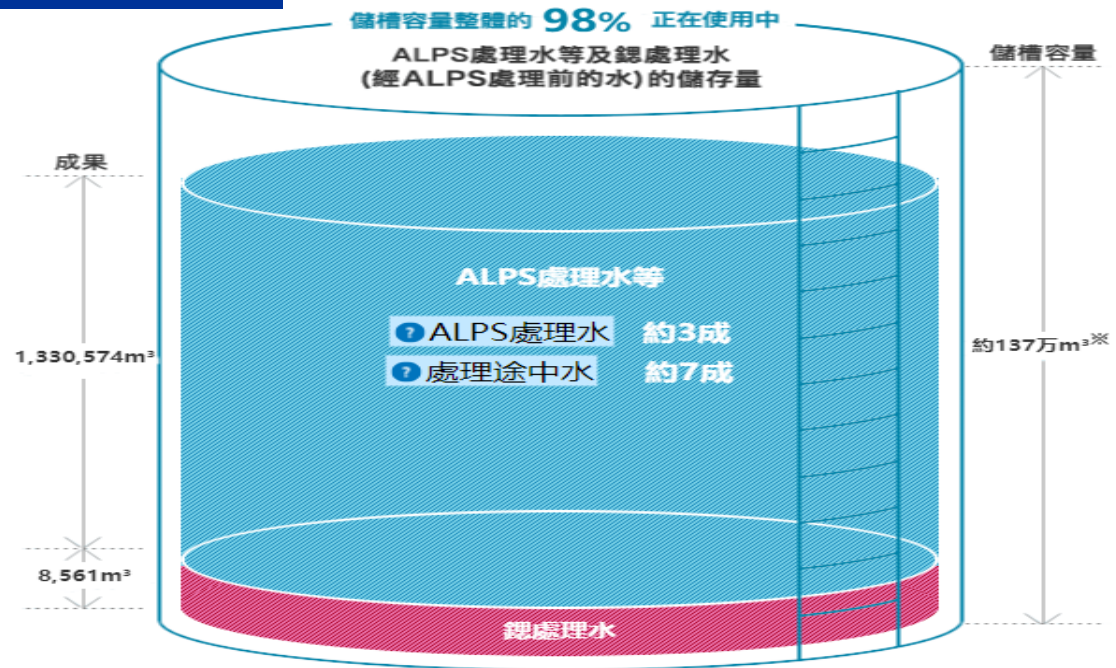
(截至2023年9月21日為止)

1,339,135 m³

* 包含從水位計的測量下限值至儲槽底部的水之儲存量

2023/8/24-2023/9-11 排放7800噸

一立方公尺的水的重量為一公噸



ALPS = Advanced Liquid Processing System，多核種處理系統
宣稱可以過濾掉「氚」和「碳14」以外的62種放射性物質

廢水排放紀錄

次數	排放期間	ALPS處理水的排放量	氚濃度※1	氚總量
第1次	2023年8月	約7,800m ³	14萬 貝克/公升	1.1兆貝克
第2次	2023年10月	約7,800m ³	14萬 貝克/公升	1.1兆貝克
第3次	2023年11月	約7,800m ³	13萬 貝克/公升	1.0兆貝克
第4次	2024年2月	約7,800m ³	17~21萬 貝克/公升	1.4兆貝克※2

次數	排放期間	ALPS處理水的排放量	氚濃度※1	氚總量
第1次	2024年4 ~ 5月	約7,800m ³	18 ~ 20萬 貝克/公升※2	1.5兆貝克
第2次	2024年5 ~ 6月	約7,800m ³	17 ~ 19萬 貝克/公升※2	1.4兆貝克
第3次	2024年6 ~ 7月	約7,800m ³	16 ~ 18萬 貝克/公升※2	1.3兆貝克
第4次	2024年7 ~ 8月	約7,800m ³	16 ~ 31萬 貝克/公升※2	1.7兆貝克
第5次	2024年8 ~ 9月	約7,800m ³	30 ~ 35萬 貝克/公升※2	2.4兆貝克
第6次	2024年9 ~ 10月	約7,800m ³	34 ~ 35萬 貝克/公升※2	2.7兆貝克
第7次	2025年2 ~ 3月	約7,800m ³	34 ~ 40萬 貝克/公升※2	3.0兆貝克

2023年度的海域監測結果（海水的氚濃度）

關於核電廠 3km 範圍內海域監測的氚濃度，結果顯示遠低於運用指標：（停止排放判斷標準：700貝克/公升）。【 指標詳情請點選此處（僅英文版）】

快速測量※結果		
次數	核電廠3km範圍內	核電廠正面10km四方的範圍內
第1次	最高10貝克/公升	未檢測出
第2次	最高22貝克/公升	未檢測出
第3次	最高11貝克/公升	未檢測出
第4次	最高16貝克/公升	未檢測出

※測量將氚的檢測下限值定為10貝克/公升左右，進而縮短測量時間，迅速得出結果。

2024年度的海域監測結果（海水的氚濃度）

關於核電廠 3km 範圍內海域監測的氚濃度，結果顯示遠低於運用指標：（停止排放判斷標準：700貝克/公升）。【 指標詳情請點選此處（僅英文版）】

快速測量 [※] 結果		
次數	核電廠3km範圍內	核電廠正面10km四方的範圍內
第1次	最高29貝克/公升	未檢測出
第2次	最高7.7貝克/公升	未檢測出
第3次	最高18貝克/公升	未檢測出
第4次	最高9.0貝克/公升	未檢測出

※測量將氚的檢測下限值定為10貝克/公升左右，進而縮短測量時間，迅速得出結果

每次排放的實績

海水稀釋前ALPS處理水的分析結果				ALPS處理水	
次數	測量、確認用設備的分析日期	氫濃度	氫以外的放射性物質濃度	排放期間	稀釋後的氫濃度※
第1次	2024年 4月17日	19萬 貝克/公升	告示濃度比總和 0.31 < 規定標準 1	2024年4月19日 ゝ 2024年5月7日	最高266貝克/公升
第2次	2024年 5月15日	17萬 貝克/公升	告示濃度比總和 0.17 < 規定標準 1	2024年5月17日 ゝ 2024年6月4日	最高234貝克/公升
第3次	2024年 6月26日	17萬 貝克/公升	告示濃度比總和 0.18 < 規定標準 1	2024年6月28日 ゝ 2024年7月16日	最高276貝克/公升
第4次	2024年 8月5日	20萬 貝克/公升	告示濃度比總和 0.12 < 規定標準 1	2024年8月7日 ゝ 2024年8月25日	最高267貝克/公升

※ 自海水管線採集之樣本的氫濃度。（「不確定度（分析資料的精度）」已被考慮在內。

日本福島核電廠廢水

Cesium-137 Re con limit 銫 9.00E+01 [Bq/L]	Cesium-134 Re con limit 銫 6.00E+01 [Bq/L]	Cobalt-60 Re con limit 鈷 2.00E+02 [Bq/L]	Antimony-125 Re con limit 銻 8.00E+02 [Bq/L]	Ruthenium-106 Re con limit 鈷 1.00E+02 [Bq/L]	Strontium-90 Re con limit 銻 3.00E+01 [Bq/L]	Iodine-129 Re con limit 碘 9.00E+00 [Bq/L]	Tritium-3 Re con limit 氚 6.00E+04 [Bq/L]	Carbon-14 Re con limit 碳 2.00E+03 [Bq/L]	Technetium-99 Re con limit 鎝 1.00E+03 [Bq/L]
--	--	---	--	---	--	--	---	---	---

$H_{1/2}$ 30.17年 5.27年 373.59天 1570萬年 5730年
 2.0648年 2.7576年 28.9年 12.43年 211,100年
 90 Bq/L 200 Bq/L 800 Bq/L 30 Bq/L 9 Bq/L 60000 Bq/L 1000 Bq/L
 60 Bq/L 100 Bq/L

1 H 氫	60 Bq/L										800 Bq/L										2 He 氦										
3 Li 鋰	4 Be 鈹	5 B 硼	6 C 碳	7 N 氮	8 O 氧	9 F 氟	10 Ne 氖	11 Na 鈉	12 Mg 鎂	13 Al 鋁	14 Si 矽	15 P 磷	16 S 硫	17 Cl 氯	18 Ar 氬	19 K 鉀	20 Ca 鈣	31 Ga 鎵	32 Ge 鍺	33 As 砷	34 Se 硒	35 Br 溴	36 Kr 氪	37 Rb 鉀	38 Sr 銻	49 In 銦	50 Sn 錫	51 Sb 銻	52 Te 碲	53 I 碘	54 Xe 氙
55 Cs 銫	56 Ba 鋇	81 Tl 鉈	82 Pb 鉛	83 Bi 鉍	84 Po 鉈	85 At 砒	86 Rn 氡	87 Fr 銻	88 Ra 鐳																						

氫(1H) – 氘(2H) – 氚(3H)
 D T

ESG遠見
永續共好

知 實踐案例 永續創新 ESG調查 ESG投資 永續城市 專家觀點

核廢水不只含氚？海產避開這種？
推薦閱讀(2023/08/29)

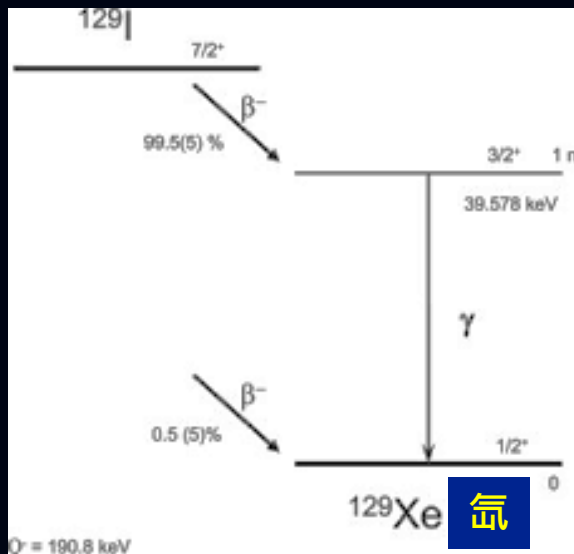
日本福島核電廠廢水

Group	Radiation concentration for each nuclide									
	Cesium-137	Cesium-134	Cobalt-60	Antimony-125	Ruthenium-106	Strontium-90	Iodine-129	Tritium-3	Carbon-14	Technetium-99
	Regulatory concentration limit 9.00E+01 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 6.00E+01 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 2.00E+02 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 8.00E+02 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 1.00E+02 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 3.00E+01 [Bq/L]	碘 Regulatory concentration limit 9.00E+00 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 6.00E+04 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 2.00E+03 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 1.00E+03 [Bq/L]

吃碘片(碘化鉀)防輻射?

$H_{1/2}$ 1570萬年
9 Bq/L

同位素	豐度	半衰期 ($t_{1/2}$)	衰變		
			方式	能量 (MeV)	產物
¹²³ I	人造	13.2232 小時	ϵ	1.228	¹²³ Te
¹²⁴ I	人造	4.1760 天	β^+	2.138	¹²⁴ Te
¹²⁵ I	人造	59.40 天	ϵ	0.184	¹²⁵ Te
¹²⁷ I	100%	穩定，帶74粒中子			
¹²⁹ I	痕量	1.614×10^7 年	β^-	0.187	¹²⁹ Xe
¹³¹ I	人造	8.0249 天	β^-	0.971	¹³¹ Xe
¹³⁵ I	人造	6.58 小時	β^-	2.634	¹³⁵ Xe



食品中原子塵或放射能汙染之安全容許量

放射性核種 食品類別	碘一三一 (I-131)	銫一三四與銫一三七之總和 (Cs-134 + Cs-137)
乳及乳製品	55 貝克/公斤 (55 Bq/kg)	50 貝克/公斤 (50 Bq/kg)
嬰兒食品	55 貝克/公斤 (55 Bq/kg)	50 貝克/公斤 (50 Bq/kg)
飲料及包裝水	100 貝克/公斤 (100 Bq/kg)	10 貝克/公斤 (10 Bq/kg)
其他食品 (1) (2)	100 貝克/公斤 (100 Bq/kg)	100 貝克/公斤 (100 Bq/kg)

備註：本標準適用於可能有發生核汙染或輻射汙染時，包括意外或惡意之行動

- 1) 乾燥或濃縮等需復水後食用之原料(如：香菇、藻類、魚貝類及蔬菜)，應以復水後供直接食用之狀態適用「其他食品」之限量；但海苔、小魚乾、魷魚乾、葡萄乾等乾燥狀態即為直接供食用狀態者，仍應直接適用「其他食品」之限量。
- 2) 茶葉須以飲用狀態之條件(沖泡成茶湯後)適用「飲料及包裝水」之限量。

日本福島核電廠廢水

Group	Radiation concentration for each nuclide									
	Cesium-137	Cesium-134	Cobalt-60	Antimony-125	Ruthenium-106	Strontium-90	Iodine-129	氚 Tritium-3	Carbon-14	Technetium-99
	Regulatory concentration limit 9.00E+01 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 6.00E+01 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 2.00E+02 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 8.00E+02 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 1.00E+02 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 3.00E+01 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 9.00E+00 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 6.00E+04 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 2.00E+03 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 1.00E+03 [Bq/L]

$H_{1/2}$ 12.43年

日本國家標準：**60000 Bq/L**

世界衛生組織建議的飲用水標準：10000 Bq/L

日本政府強調，福島第一核電廠的核廢水在排放前會先經過稀釋，將濃度降低至 **1500 Bq/L**

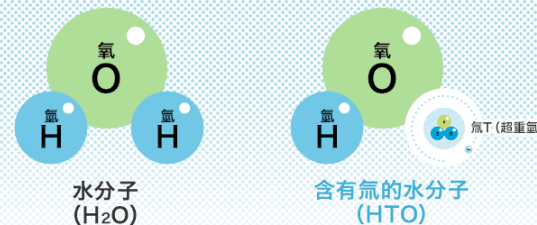
因應日本福島核廢水排海

台灣超前部署 嚴格把關

「氚」的安全標準

	標準貝克/升 (Bq/L)
WHO	飲用水:10,000
日本	ALPS處理後:1,500
台灣	預警基準:1,000

比WHO嚴10倍



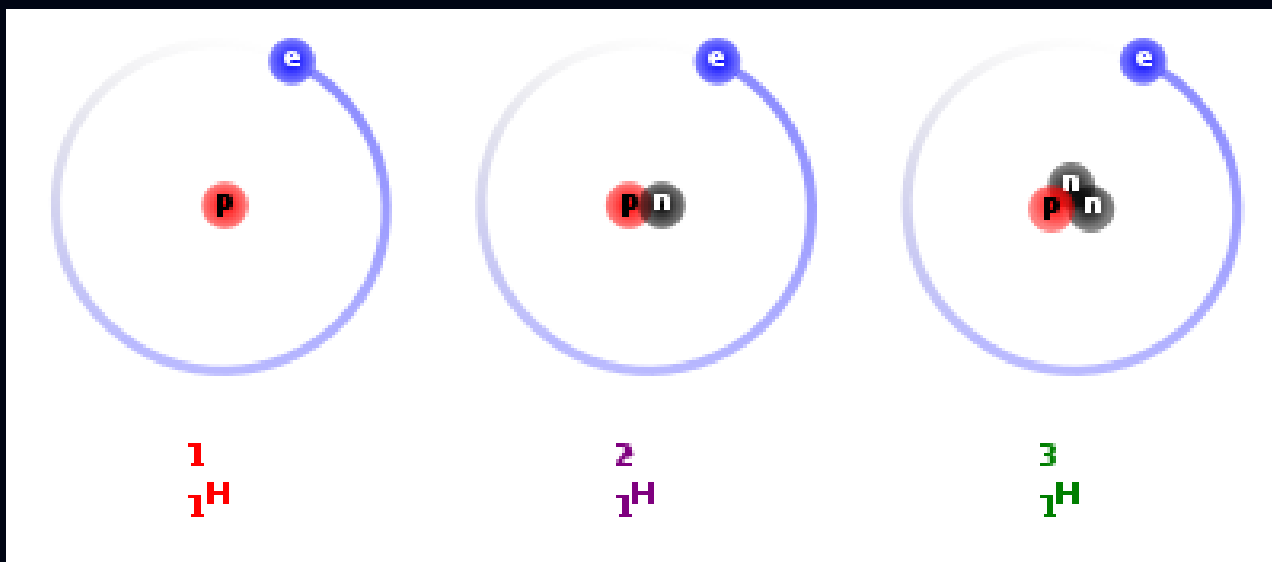
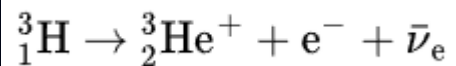
氚，亦稱超重氫，化學符號為 T 或 ^3H ，原子序數為 1，原子量為 3 u 。



氚是氫唯一的天然放射性同位素，在地球的自然界中，相比一般的氫氣，氚的含量極少。由於氚的半衰期只有12.43年，每過12.43年就要減少一半，所以地球誕生之初存在的氚早已衰變得無影無蹤了。如今自然界中的氚，是當宇宙射線所帶的高能量中子撞擊氘核，氘核與中子結合為氚核而形成，總量只有幾千克，所以工業和實驗用的氚絕大部分都是人工合成的。

氚與氘之用途類同，都是製造氫彈的原料。另外氚還可做為不需電源、有自發光能力，供暗處識別用的氚管。

衰變模式	
衰變類型	衰變能量 (MeV)
β 衰變	0.018590

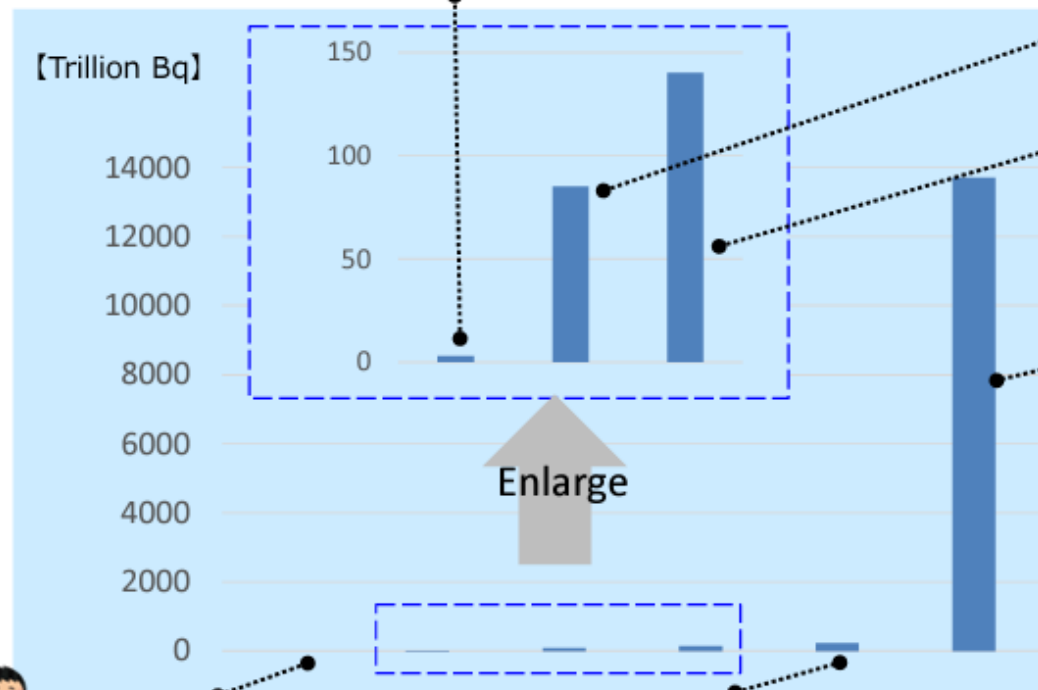


氚

沸水式核子反應爐每年排放	2.9 TBq
壓水式核子反應爐每年排放	85 TBq
CANDU重水鈾反應爐每年排放	140 TBq
經再處理後排放每年	13 TBq
福島核電廠目前存放	780 TBq

Average amount of Tritium discharged from **Boiling Water Reactor type nuclear power plants (NPPs)** (average) **[annual]** (less than **2.9 trillion Bq/year**)

Average amount of Tritium discharged from **Pressured Water Reactor type NPPs** (average) **[annual]** (less than **85 trillion Bq/year**)



Amount of Tritium discharged from **a CANDU type NPP [annual]** (about **140 trillion Bq/year**)

Amount of Tritium discharged from **a reprocessing plant [annual]** (less than **13 quadrillion Bq/year**)

Amount of Tritium stored in Fukushima Daiichi NPS **[total]** (about **780 trillion Bq**)

Amount of Tritium in **human body [total]** (tens of Bq)

Amount of Tritium in **rainwater in Japan [annual]** (about **220 trillion Bq/year**)

每年核設施的氣排放量^[17]

地點	核設施	最近的水域	液體排放量 (TBq)	蒸汽排放量 (TBq)	總和 (TBq)	年
 英國	希舍姆核電站B	愛爾蘭海	396	2.1	398	2019
 英國	塞拉菲爾德後處理設施	愛爾蘭海	423	56	479	2019
 羅馬尼亞	切爾納沃德核電站一號機	黑海	140	152	292	2018
 法國	拉阿格處理場	英吉利海峽	11,400	60	11,460	2018
 南韓	月城核電站和其它	日本海	211	154	365	2020 ^[18]
 中華民國	第三核能發電廠	呂宋海峽	35	9.4	44	2015
 中華人民共和國	福清核電站	台灣海峽	52	0.8	52	2020
 中華人民共和國	三門核電站	東海	20	0.4	20	2020
 加拿大	布魯斯核電站A和B	五大湖	756	994	1,750	2018
 加拿大	達靈頓核電站	五大湖	220	210	430	2018
 加拿大	皮克靈核電站一到四號機	五大湖	140	300	440	2015
 美國	魔鬼谷核電站一和二號機	太平洋	82	2.7	84	2019

福島核電廠目前存放 780 TBq

維基百科

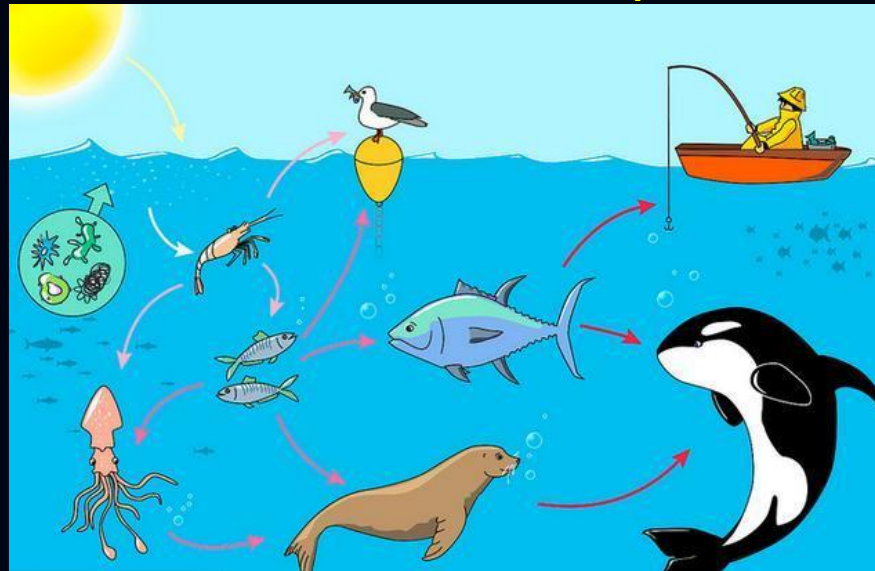
台灣因應日本福島核廢水措施

項目	措施	問題
模擬影響台灣時間	原能會利用2011年日本福島事故後10年的歷史海流資料模擬分析，約3至4年才會影響台灣海域	台灣學者模擬核廢水約在1年內就會抵達台灣，甚至幾天內就會影響
生物氚檢測量能	一年檢測漁產、水產含氚量，合計最多500件	相較一年可檢驗食品輻射值7萬件，明顯偏低
海水檢測	台灣海域的海水氚監測點位目前共計107點，一年預計可檢測400多件	無法在環境中自動即時監測，需將樣本透過實驗室技術分析，會有時間落差
漁產取樣分析	日核廢水排放後，漁產取樣分析會從每年300件提高至3000件	應建立具代表性的漁產採樣方法及程序，涵蓋台灣周邊海域及遠洋經濟性漁獲，建立無輻射污染漁產標章

日本福島核電廠廢水

Group	Radiation concentration for each nuclide									
	Cesium-137	Cesium-134	Cobalt-60	Antimony-125	Ruthenium-106	Strontium-90	Iodine-129	Tritium-3	Carbon-14	Technetium-99
	Regulatory concentration limit 9.00E+01 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 6.00E+01 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 2.00E+02 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 8.00E+02 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 1.00E+02 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 3.00E+01 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 9.00E+00 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 6.00E+04 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 2.00E+03 [Bq/L]	Regulatory concentration limit 1.00E+03 [Bq/L]

$H_{1/2}$ 29.1年
30 Bq/L



銣，是一種化學元素，
化學符號為 Sr，原子序
數為38，原子量為
87.62u。

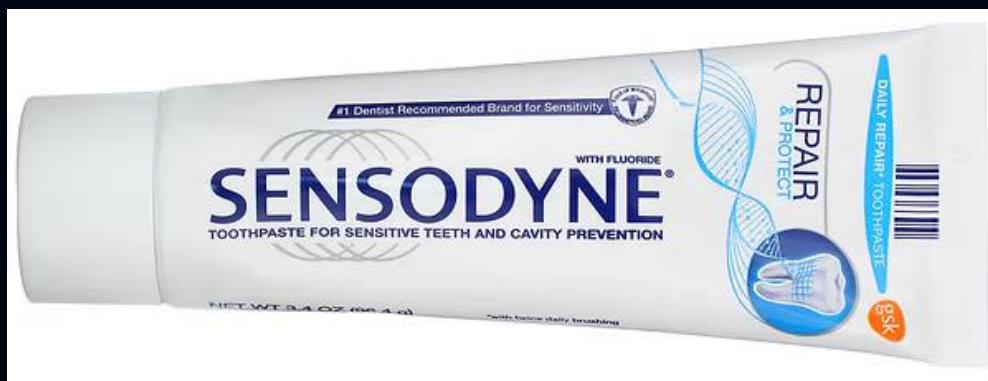


銣元素在周期表中位于第4周期、第ⅡA族，銀白色鹼土金屬，自然界以化合物形式存在。銣在人體內以 Sr^{2+} 存在，含量約320 g，99%存在人體硬組織骨骼在和牙齒中，剩餘0.7%存在於細胞外液。

銣主要經胃腸道吸收，少部分經皮膚、肺吸收；大部分由腎臟代謝，最終隨尿液排出體外，小部分由胃腸排除。

由於銣與鈣類似，因此銣也可被骨吸收

同位素	豐度	半衰期 ($t_{1/2}$)	衰變		
			方式	能量 (MeV)	產物
^{82}Sr	人造	25.35 天	ϵ	0.178	^{82}Rb
^{84}Sr	0.56%	穩定，帶46粒中子			
^{85}Sr	人造	64.846 天	ϵ	1.064	^{85}Rb
^{86}Sr	9.86%	穩定，帶48粒中子			
^{87}Sr	7.00%	穩定，帶49粒中子			
^{88}Sr	82.58%	穩定，帶50粒中子			
^{89}Sr	人造	50.563 天	β^-	1.492 ^[2]	^{89}Y
^{90}Sr	人造	28.91 年	β^-	0.546	^{90}Y



舒酸定原味配方牙膏是含**氟化銣**的第一支抗敏牙膏，氟化銣有助於封閉牙本質小管，以避免神經暴露在冷、熱等刺激之下。

銫與銂如何進入人體與食物中？

福島災變釋出的銫-137與銂-90，會因為化學性質不同，會經由不同途徑，分別進入生物體或食品中。例如：在化學週期表中屬於鹼族元素的銫，其化學性質與鉀類似，在生物體內的生理半衰期很短，且釋出的貝他輻射能量不高，以至於對於人體的毒性與為害性不高。而另一方面，鹼土元素的銂，其化學性質與鈣類似，很容易累積在乳品或高鈣的各類食品中，而且是醫學上有名的趨骨性核種，一旦攝食進入人體內，易被吸收且會長期累積在骨骼與骨髓中，加上銂所釋出的貝他輻射能量高，對於人體造血系統的破壞力極強，目前已知是引發血癌的重要元兇之一。由於其半衰期長達28.8年，若一名10歲的幼童不慎攝入銂-90，當他70歲時體內殘留的銂-90仍有約1/4的毒性，不可不慎！

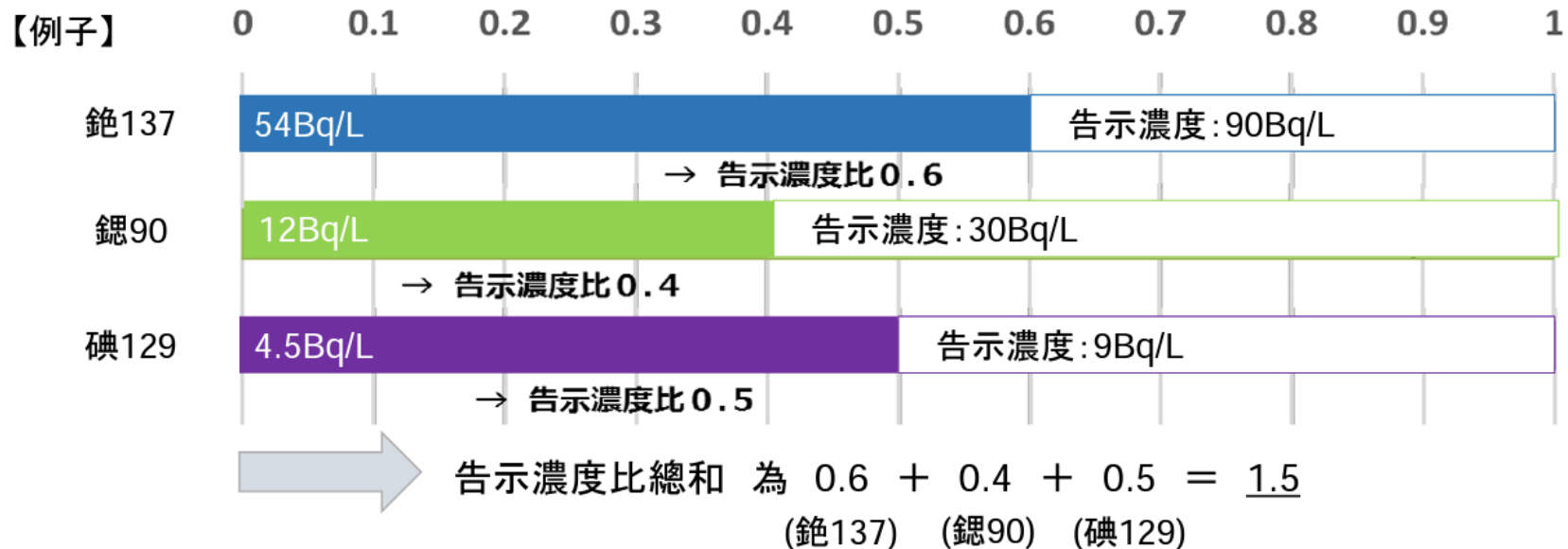
核種	分裂產率 (%)	半衰期 ⁽¹⁾ ($T_{1/2}$)	輻射形態與能量 ⁽²⁾ (Mev)	相近元素	累積器官
碘 碘-131	~3	8.02 天	β (0.606) γ (0.364)	碘-127	甲狀腺
銫 銫-137	6.3	30.2 年	β (0.512) γ (0.662)	鉀	肝、腎、肌肉
銫-134	<6.8	2.06 年	β (2.058)	鉀	肝、腎、肌肉
銂 銂-90	4.5	28.8 年	β (2.280) β (0.546)	鈣	骨髓、骨骼
銂-89	~3	50.5 天	β (1.491)	鈣	骨髓、骨骼

排放多種放射線物質

〈參考〉有關「告示濃度比總和」 取自環境省網站<https://www.env.go.jp/content/900544139.pdf> (本館翻譯)

- 「告示濃度比總和」是一個管制標準的概念，用於原子能管制委員會所進行的安全審查，並加入了對多種核素的影響的考慮。
- 為了將標準不同的核素總括起來進行評估，要計算出每種核素實際的輻射濃度與管制標準值(告示濃度※)的比率，然後以這些數值相加得出的總和(告示濃度比總和)去作評估。
- 為了符合管制標準，告示濃度比總和必須低於「1(mSv)」。

※告示濃度被設定為如果每天飲用大約2公升該濃度的水，1年所受到的輻射量為1mSv。另外，氚的濃度被設定為每公升6萬Bq/L。



※雖然每一種個別的核素都低於標準值(=1)，但如果總和超過標準值(=1)，就不能排放到大氣或海洋中。

重點！

- 氚在海中是水型態，鹽是海水蒸發後的氯化鈉結晶，鹽裡不會有氚。
- 氚有可能隨水循環蒸發、降雨，但其濃度低，對人體不太會有影響。
- 氚(及其貝他粒子)無法穿過皮膚進入人體。因此，如果從外在接觸氚水，如下雨淋到或游泳碰到，氚不會穿透皮膚造成傷害。
- 國際原子能總署（IAEA）的資料顯示：目前福島核電廠廢水的氚為每公升205貝克，遠低於世界衛生組織飲用水氚濃度標準是每公升10,000貝克。
- 海中生物的骨骼中可能有鋇，應避免食用骨骼。
- 經常性適量攝取含碘食物，可以減少來源不明的碘的吸收

日本排放福島核廢水

海鮮可以吃嗎？

海水/雨水有輻射嗎？

需要買鹽囤積嗎？

輻射傷害

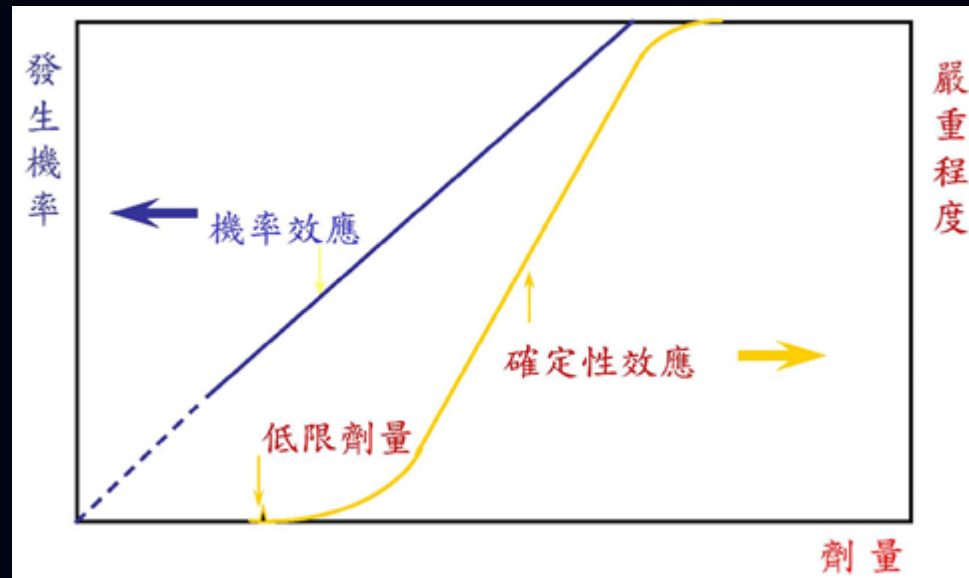
輻射的健康效應

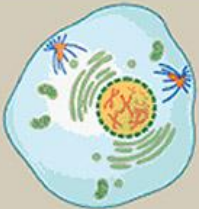
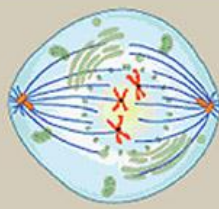
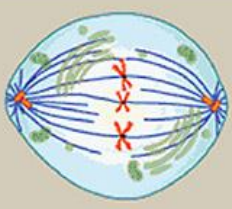
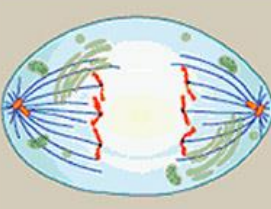
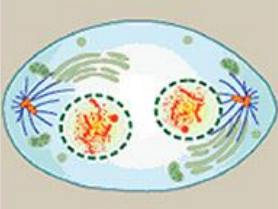
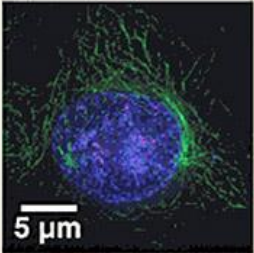
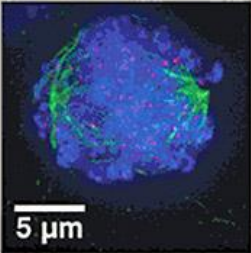
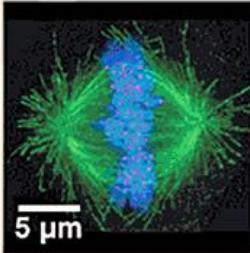
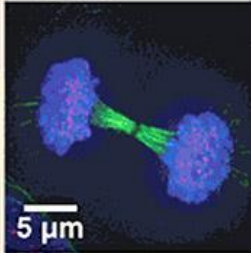
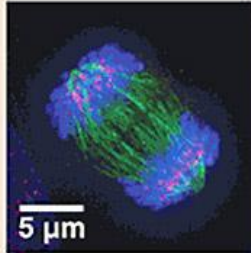
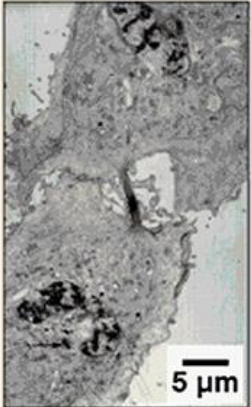
確定效應	皮膚發生紅斑 毛髮脫落 骨髓、肺、消化道傷害 白血球減少 不孕 噁心、嘔吐、腹瀉	急性效應	軀體效應
	白內障 胎兒生長發育異常	慢性效應	
機率效應	白血症、癌症	遺傳效應	
	遺傳基因突變或染色體變異所發生的各種疾病		

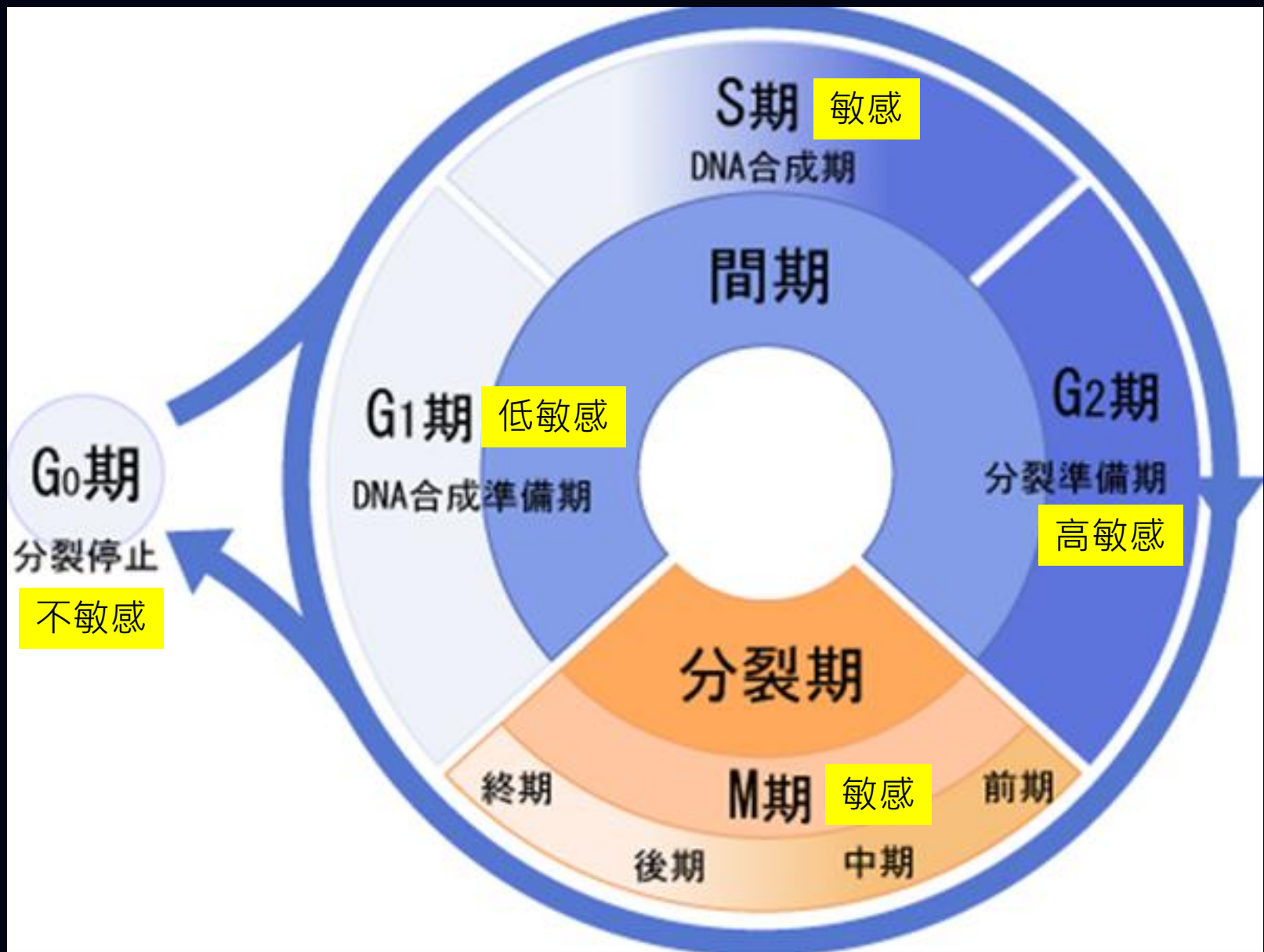


機率效應與確定效應

- 機率效應：指致癌效應及遺傳效應，其**發生之機率與劑量大小成正比**，而與嚴重程度無關，此種效應之發生無劑量低限值。
- 確定效應：指導致組織或器官之功能損傷而造成之效應，其**嚴重程度與劑量大小成比例增加**，此種效應可能有劑量低限值。



前期：	前中期：	中期：	後期：	末期：	胞質分裂：
					
• 染色體凝聚並變得可見 • 紡錘絲從中心體出現 • 核膜裂解 • 中心體向兩極移動	• 染色體繼續凝聚 • 動粒出現在著絲粒處 • 有絲分裂的紡錘體微管附著於動粒	• 染色體排列於中期板上 • 每個姐妹染色單體都附著在來自相反兩極的紡錘絲上	• 著絲粒分成兩部分 • 姐妹染色單體 (現稱為染色體) 被拉向兩極 • 某些紡錘絲開始拉長細胞	• 染色體到達兩極並開始解旋 • 核模材料包裹每組染色體 • 有絲分裂紡錘絲分解 • 紡錘絲繼續推開兩極	• 動物細胞：分裂溝縊開兩個子細胞 • 植物細胞：新細胞壁的前體細胞板將子細胞分開
					
有絲分裂					



敏 感 度	組 織 器 官 名 稱
高	胎兒、淋巴組織、生殖腺、骨髓、脾臟
稍高	皮膚、水晶體、消化道
中等	肝臟、血管
低	肌肉、骨骼、神經

辐射敏感性	组织器官
高度敏感	淋巴组织、胸腺、骨髓、胃肠上皮、性腺、胚胎
中度敏感	角膜、晶状体、结膜、内皮细胞、皮肤上皮、唾液腺和肾、肝、肺组织上皮细胞
轻度敏感	中枢神经系统、内分泌腺(性腺除外)、心脏
不敏感	肌肉、软骨、骨、结缔组织

局部輻射曝露傷害效應

組織與效應	單次曝露劑量(mGy)	年累積劑量(mGy/year) ¹
睪丸 暫時不孕 永久不孕	100 6000	400 2000
卵巢 不孕	3000	>200
水晶體 白內障	500	500 ²
骨髓 造血功能低下	500	>400
心臟或腦部 循環系統疾病	500	500 ³

1：1年內分次曝露的累積總劑量

2：數年內累積總劑量

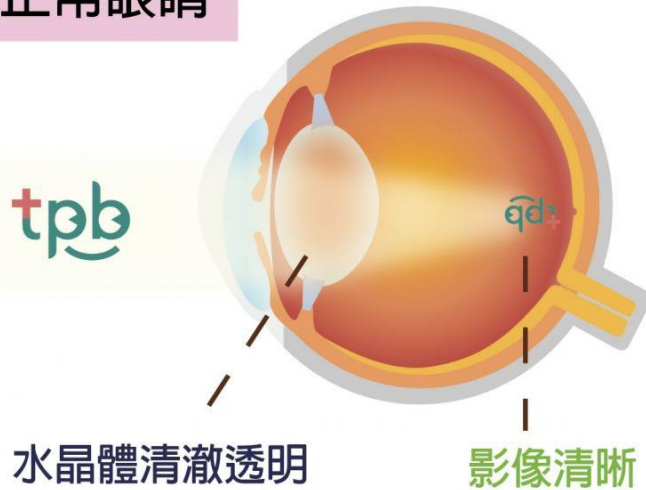
3：一生中累積總劑量

1 毫戈雷 = 1 毫西弗 (X光或加馬射線)

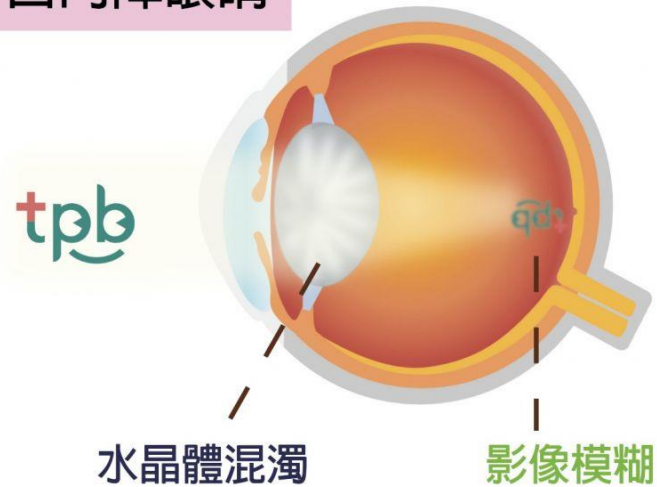
一般民眾年劑量限值
1 毫西弗 / 年

白內障

正常眼睛



白內障眼睛



1. 視覺模糊
2. 色彩感知減少
3. 眩光
4. 晚上駕駛困難
5. 難以閱讀細則

5個白內障的早期症狀

MEDICAL
INSPIRE

鉛眼鏡/鉛眼罩

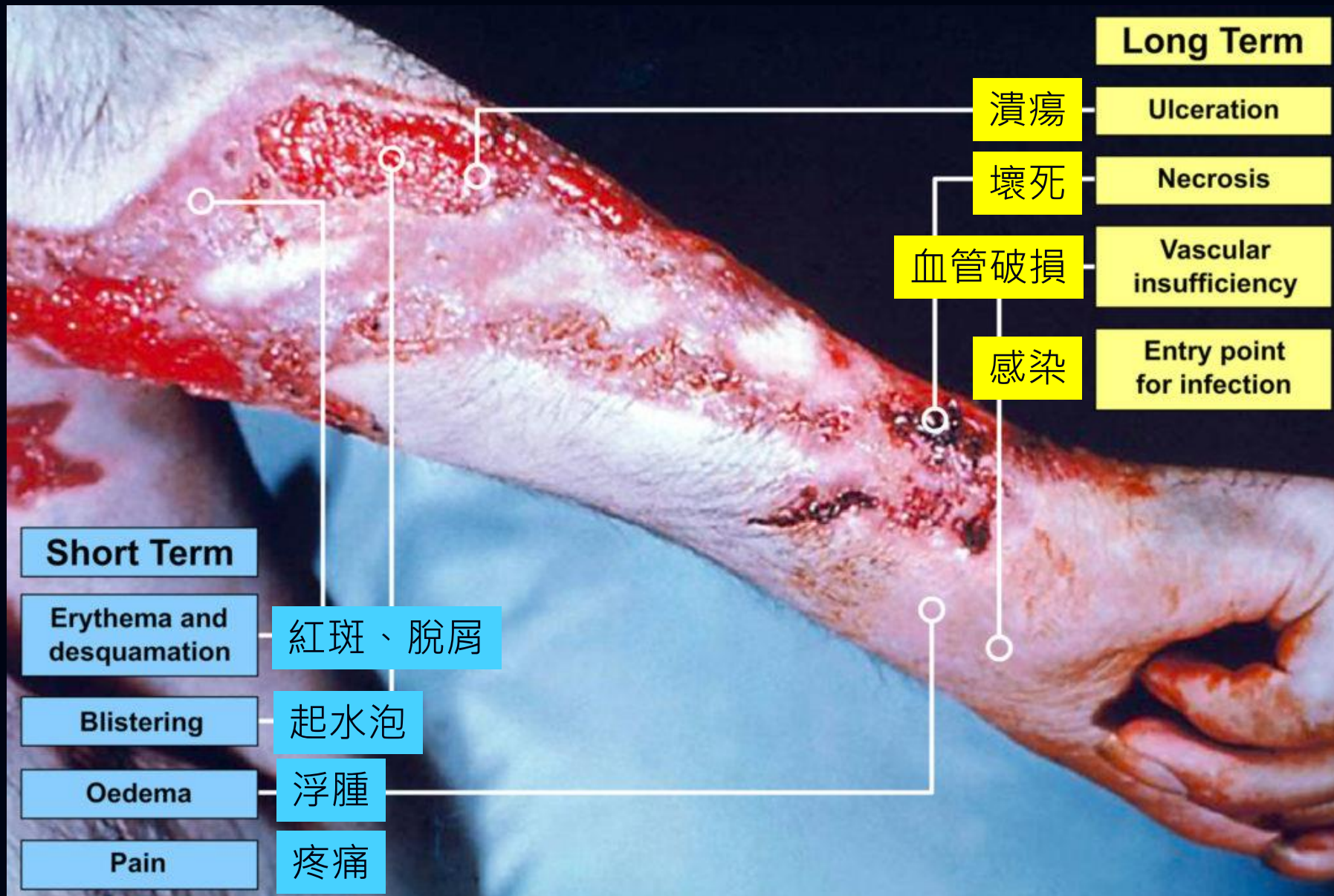


鉛當量 (Lead equivalent) :
0.25 mm Pb 、 0.35 mm Pb 、 0.5 mm Pb 、 0.75 mm Pb

單次體外全身輻射曝露傷害效應

輻射劑量 (毫西弗 mSv)	症狀
< 100	無可察覺症狀，但延遲輻射病症的產生仍可能發生
100 – 250	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，但不至發生機能之影響
1000 – 2000	有疲倦、噁心、嘔吐現象，血液中淋巴球及白血球減少後恢復緩慢
2000 – 4000	24小時內會噁心、嘔吐，數周內有脫髮、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，但症狀顯示得較快，在2-6週內死亡率為50%
6000 以上	若無適當醫護，死亡率為 100%

輻射作業造成一般民眾年劑量限值：1 毫西弗 / 年



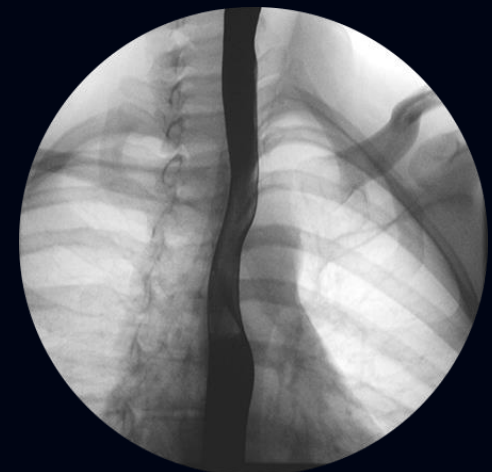
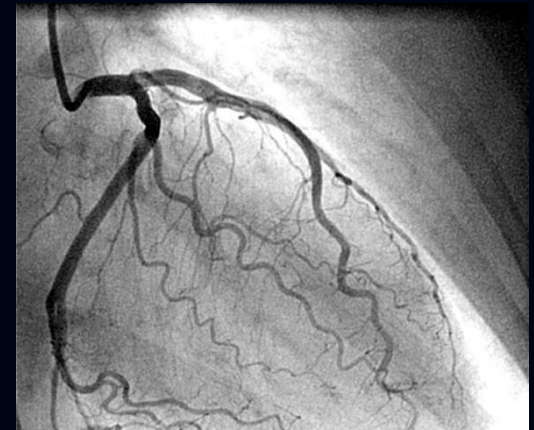
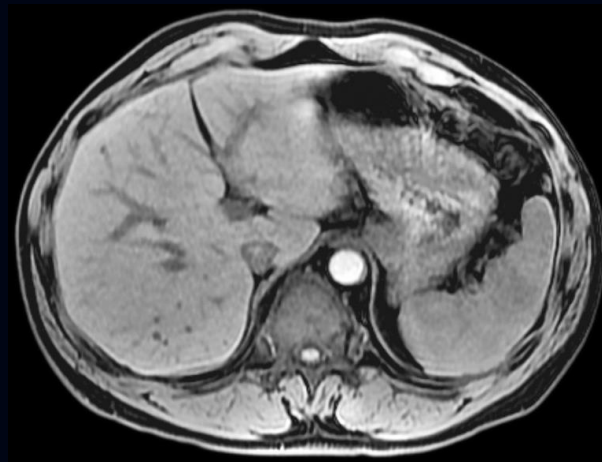
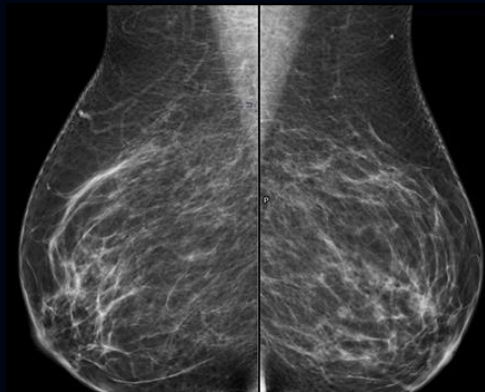
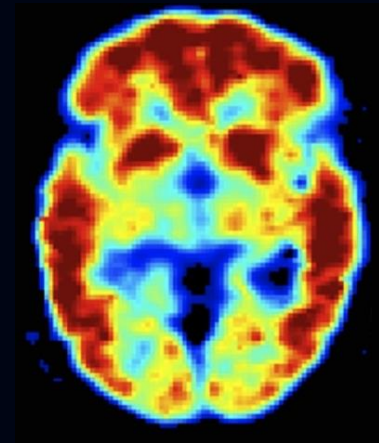
重點！ 重點！ 重點！

- 一般民眾年劑量限值(1 毫西弗 / 年) $\neq$ 人體會受到輻射傷害
- 不同器官/細胞類型對輻射敏感度不同
- 累積輻射劑量 $> 100 \text{ mGy}$ (或 mSv) 才要考慮輻射可能帶來的傷害程度
- 大部分細胞受到輻射傷害後的結果是細胞凋亡



醫療曝露

醫學影像



醫學影像儀器

■ 放射科

- 一般X光機
- 乳房攝影X光機
- 電腦斷層掃描儀(CT)
- 磁共振造影儀(MRI)
- 超音波掃描儀
- 遙控透視X光機
- 血管攝影X光機
- 骨質密度儀

■ 牙科

- 一般/全口牙科X光機
- 全口斷層牙科X光機

■ 核子醫學科

- 加馬掃描儀
- 單光子斷層掃描儀
- 正子斷層掃描儀
- 正子磁共振掃描儀

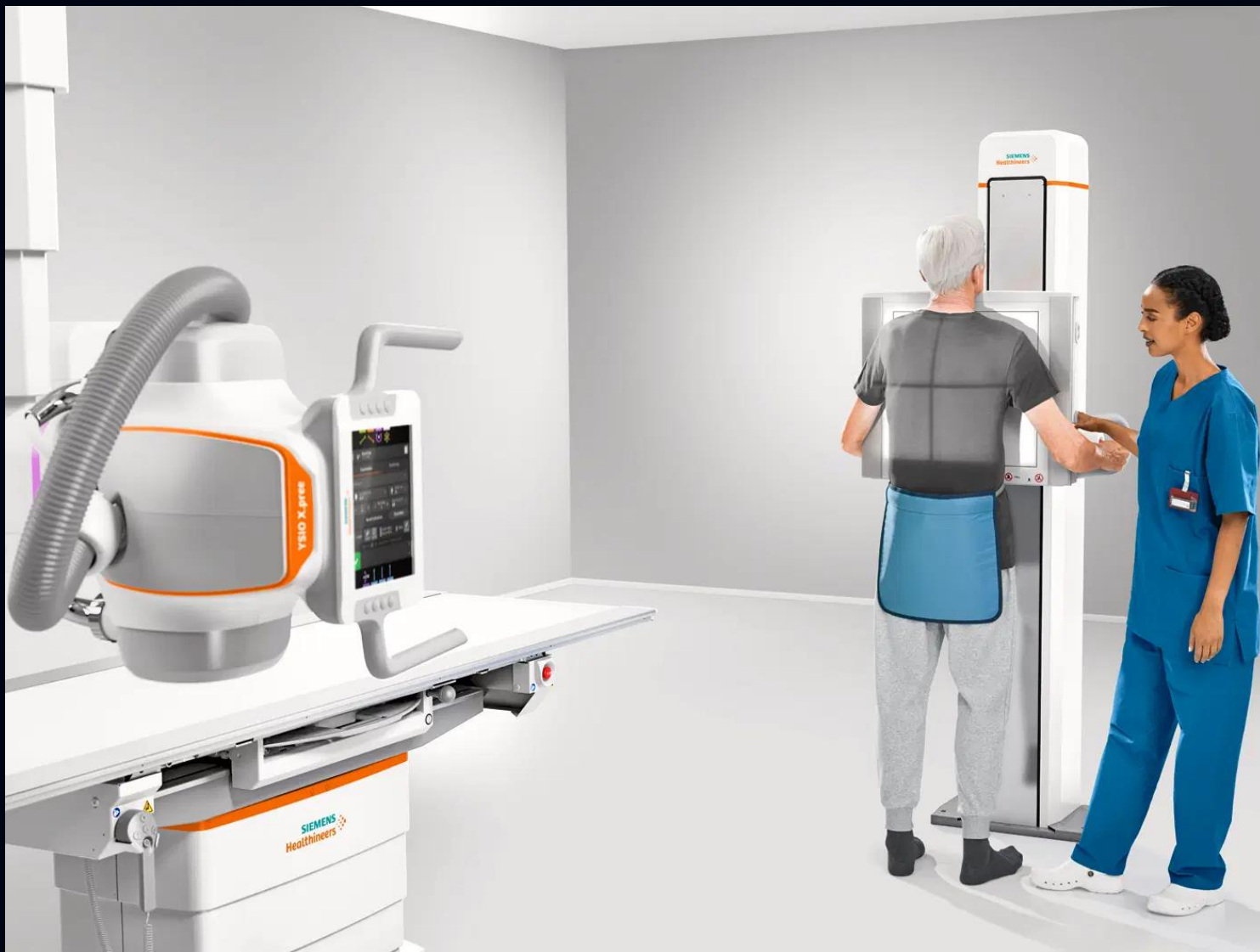
■ 放射腫瘤科

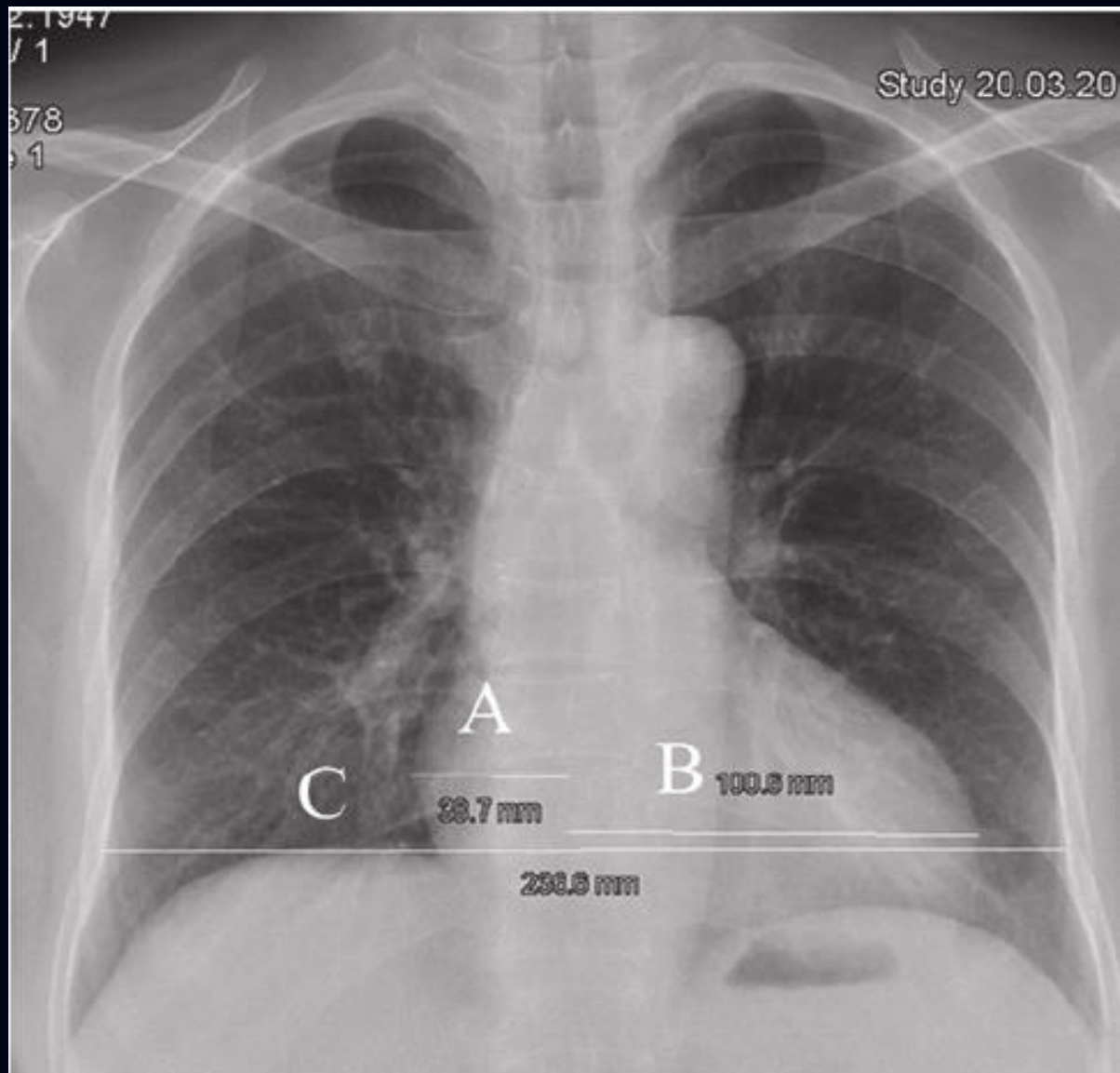
- 斷層模擬定位儀

■ 心臟科/外科/泌尿科

- C-Arm X光機
- 血管攝影X光機
- 震波碎石機

一般X光機





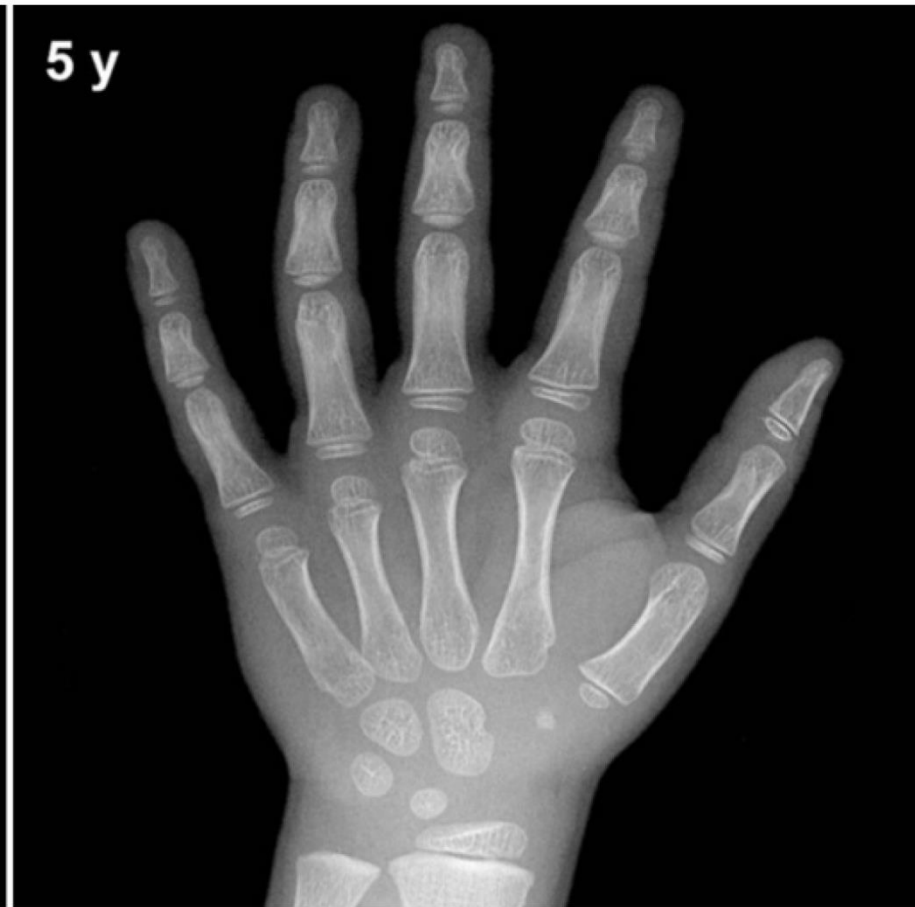
$$\text{CTR} = (A+B) / C$$

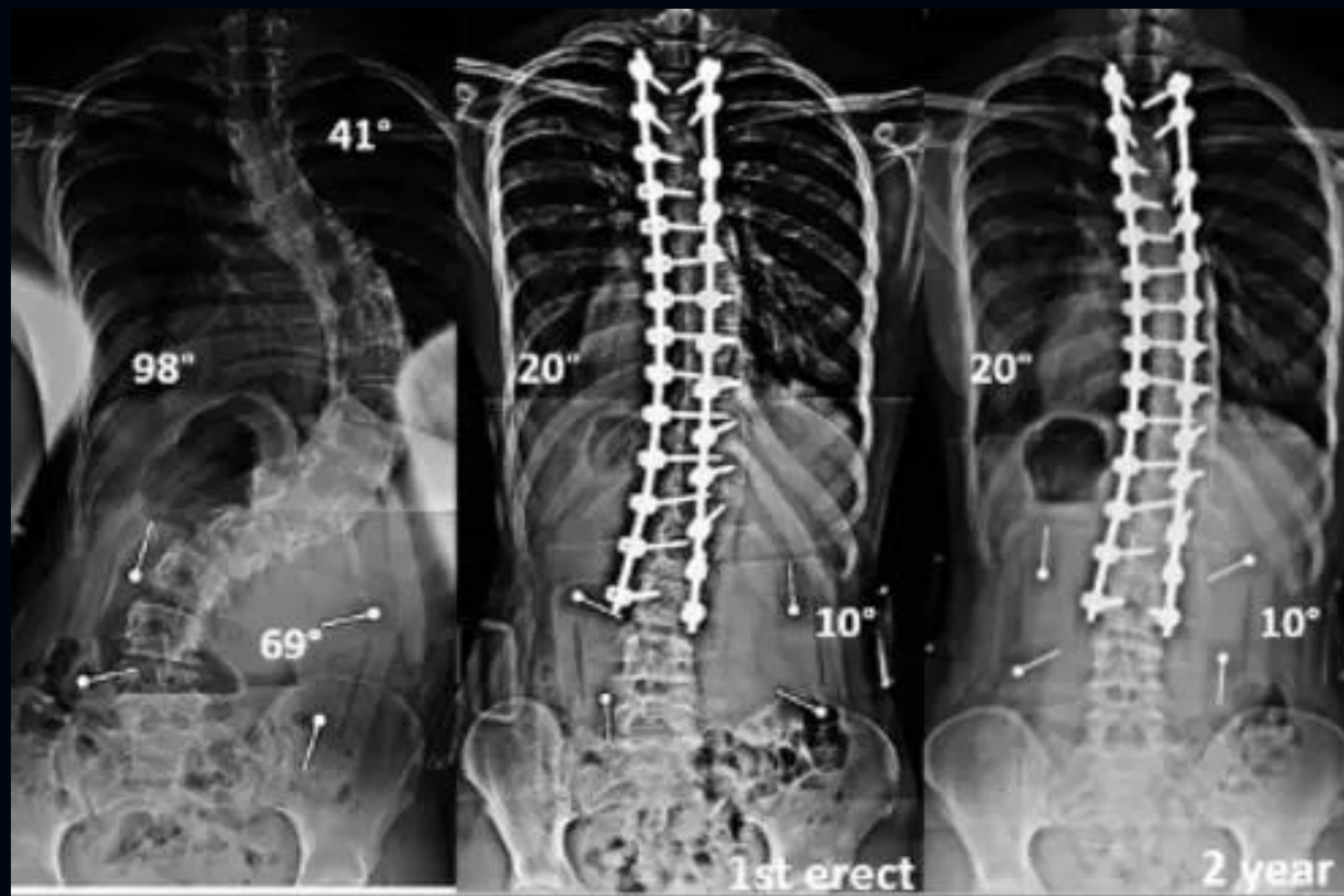
normal measurement is 0.42-0.50

8 m



5 y

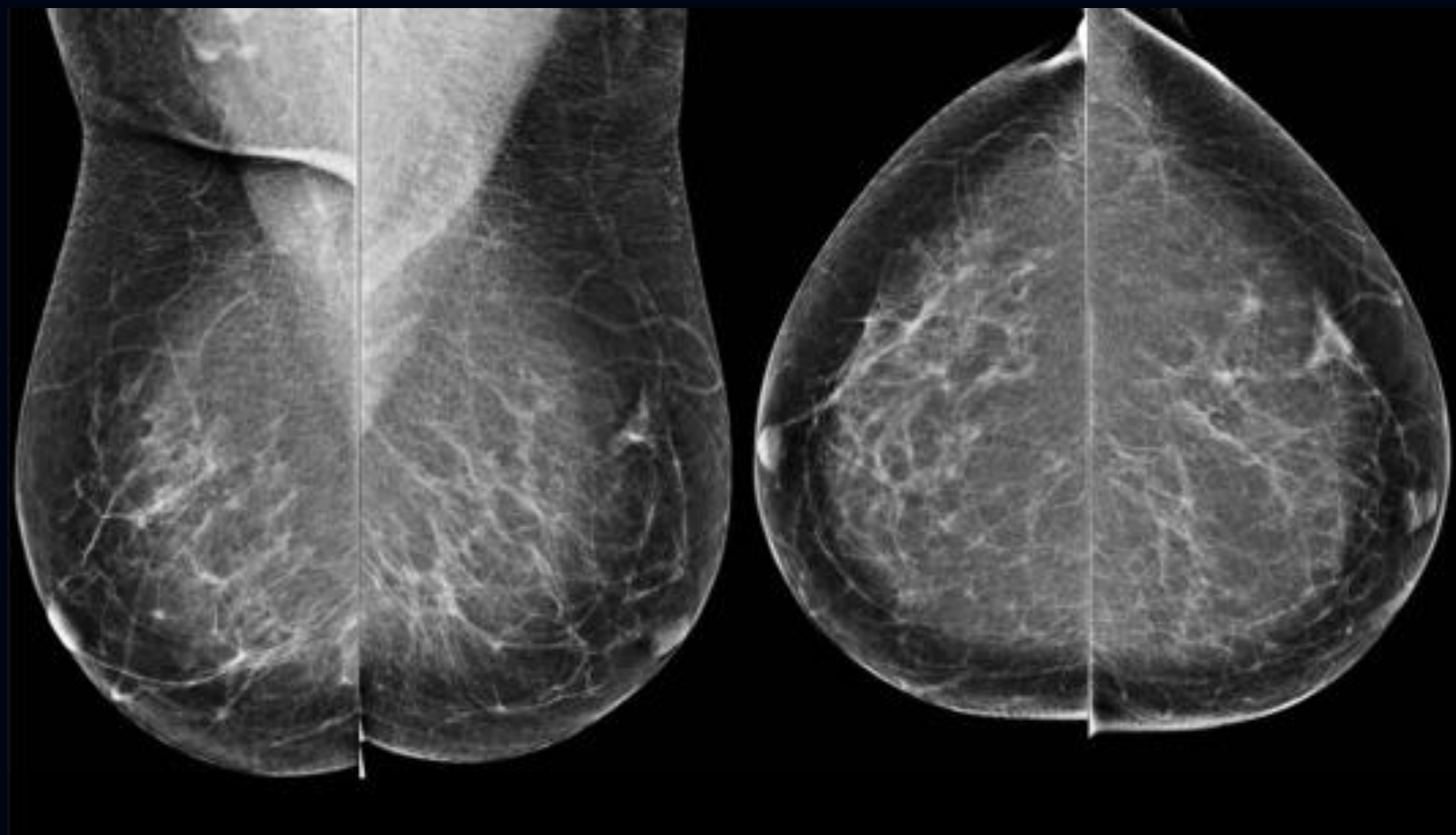






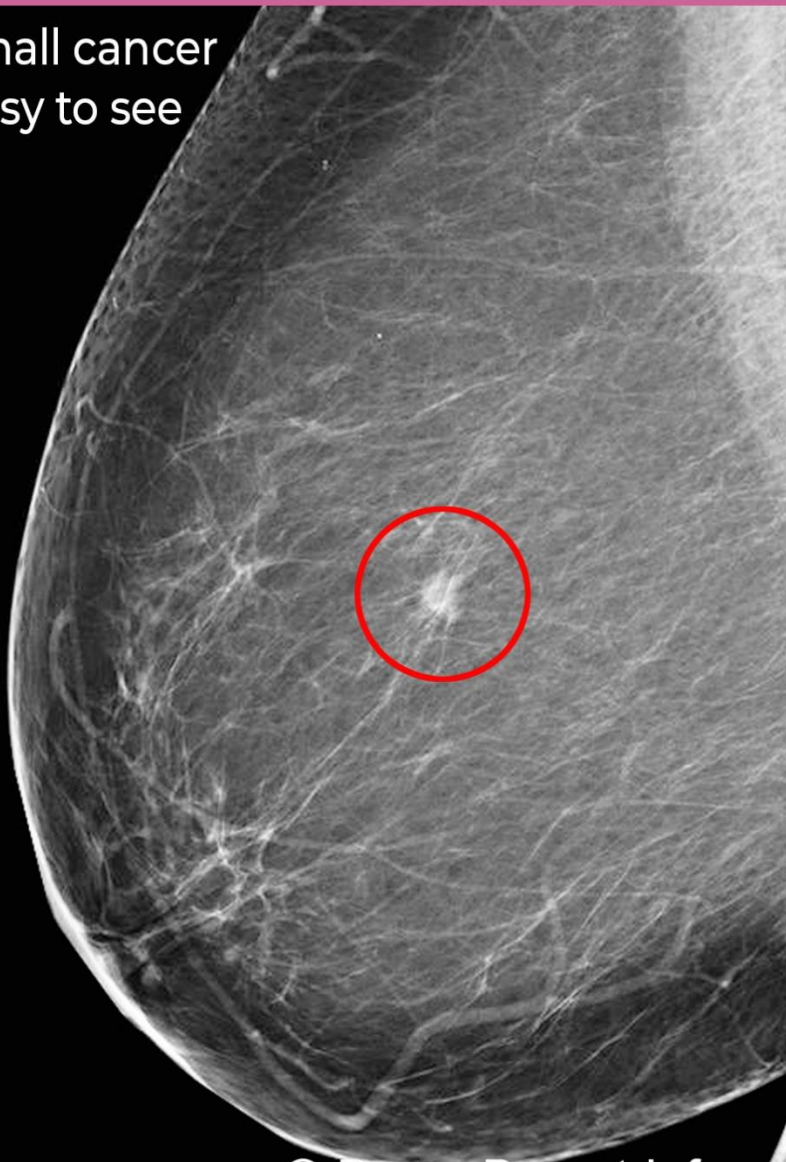
乳房攝影X光機





Mammogram of “Not Dense” Breast

A small cancer
is easy to see



Mammogram of “Dense” Breast

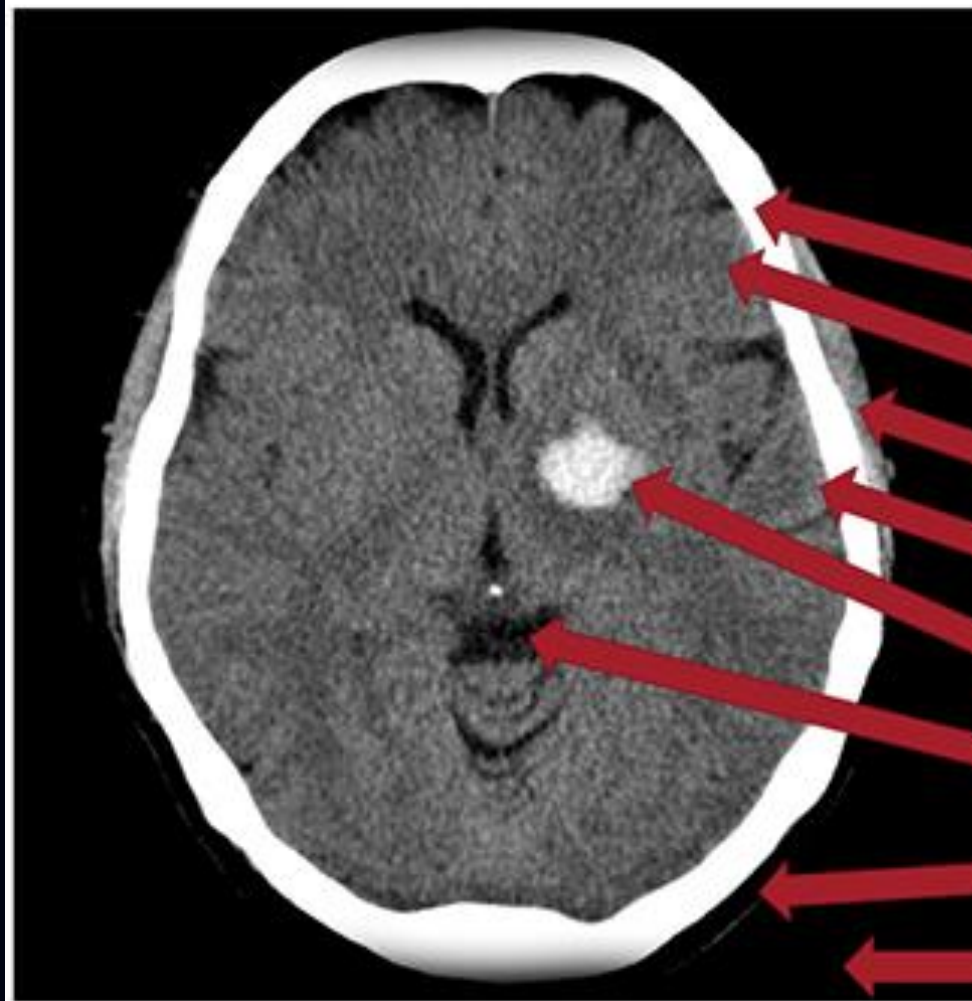
Even a large cancer
is hard to see



電腦斷層掃描儀

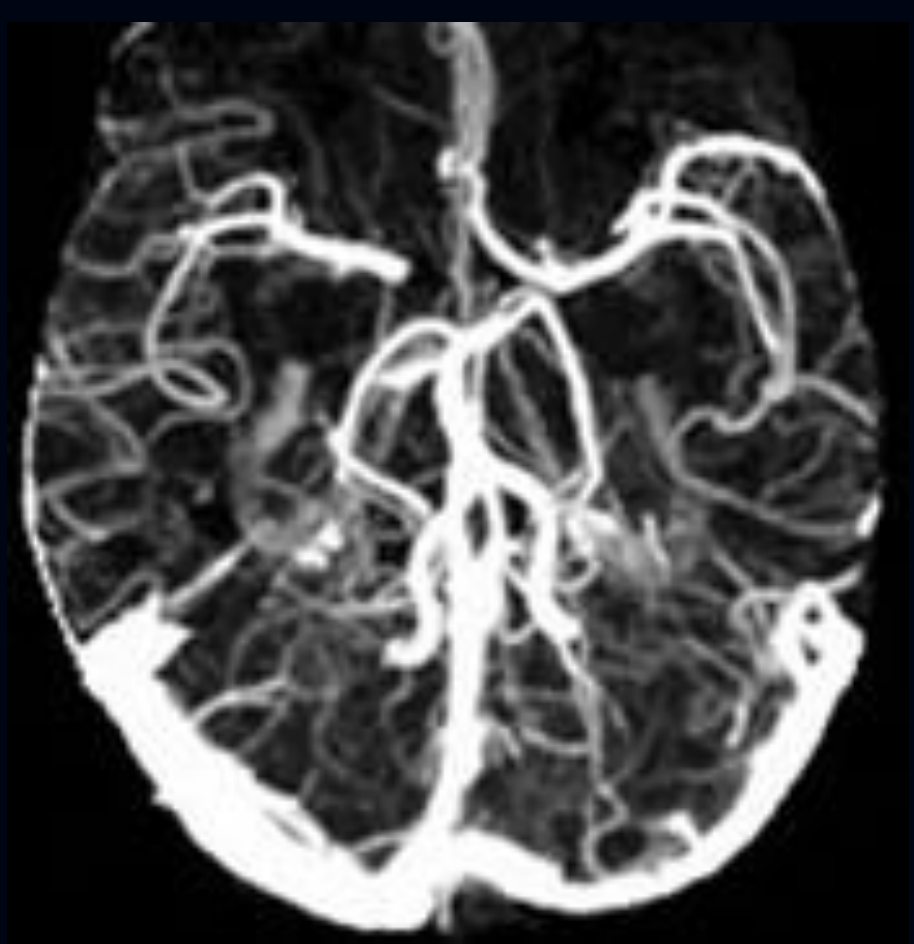
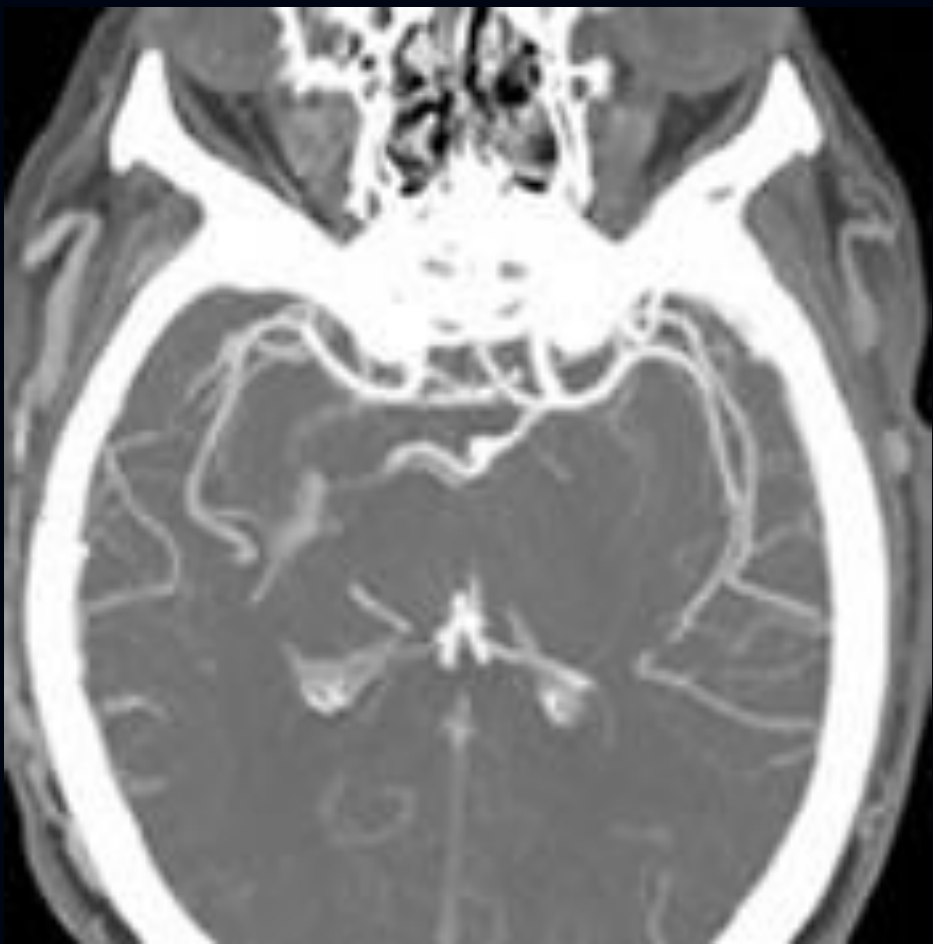






CT Number Ranges in HUs

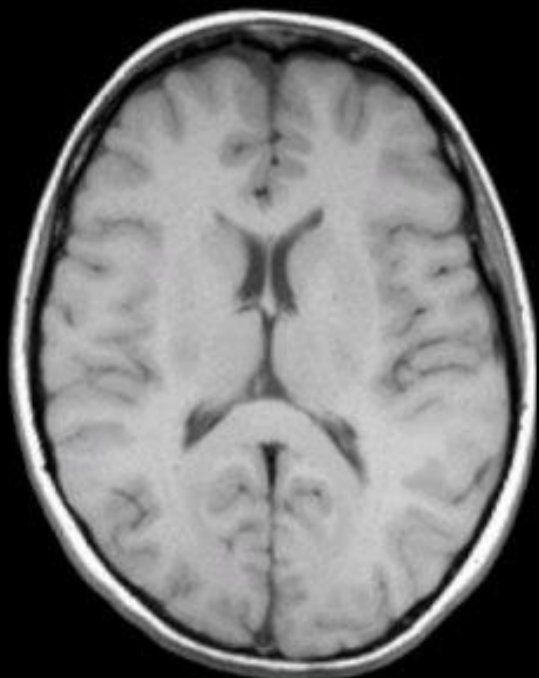
Bone	+1000
White matter	+20 to +30
Muscle	+20 to +40
Gray matter	+30 to +40
Hemorrhage	+65 to +95
CSF (water)	0
Fat	-30 to -70
Air	-1000



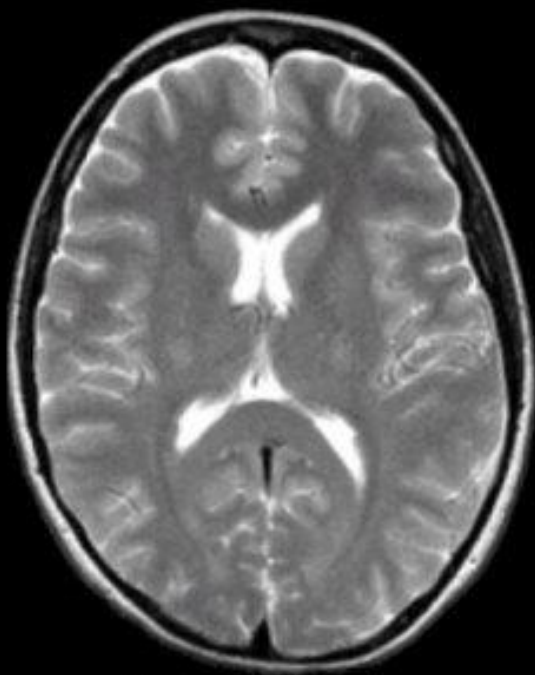


磁振造影儀

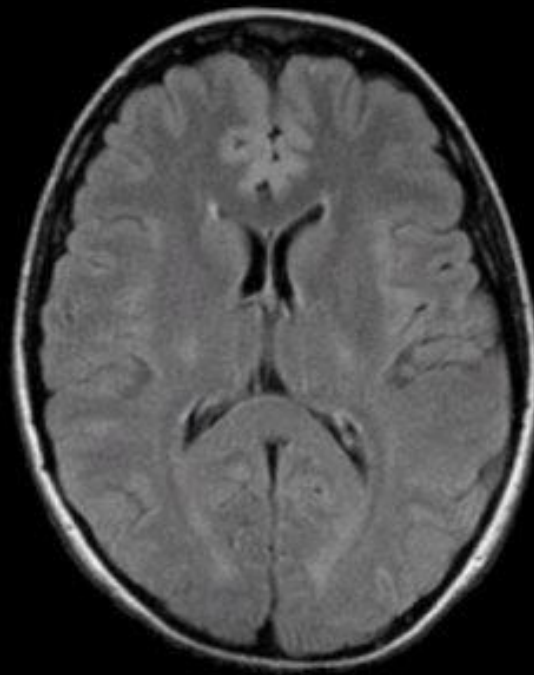




T1-weighted

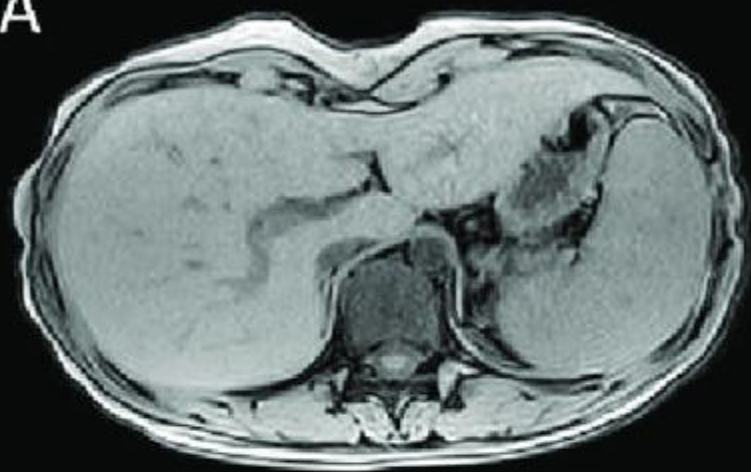


T2-weighted

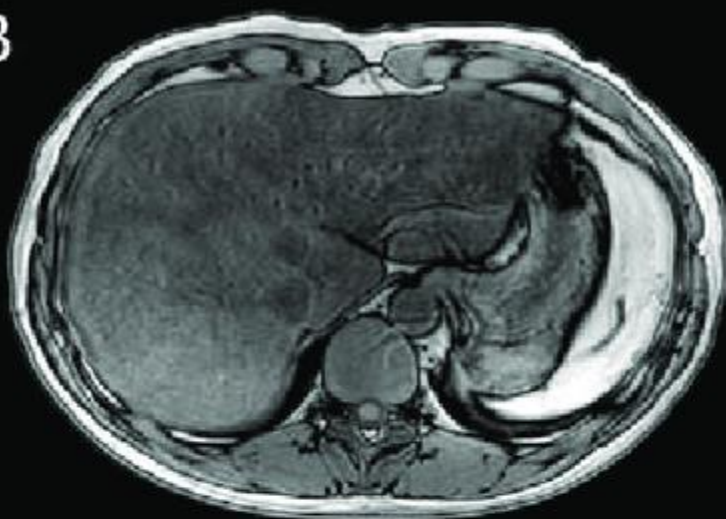


Flair

A



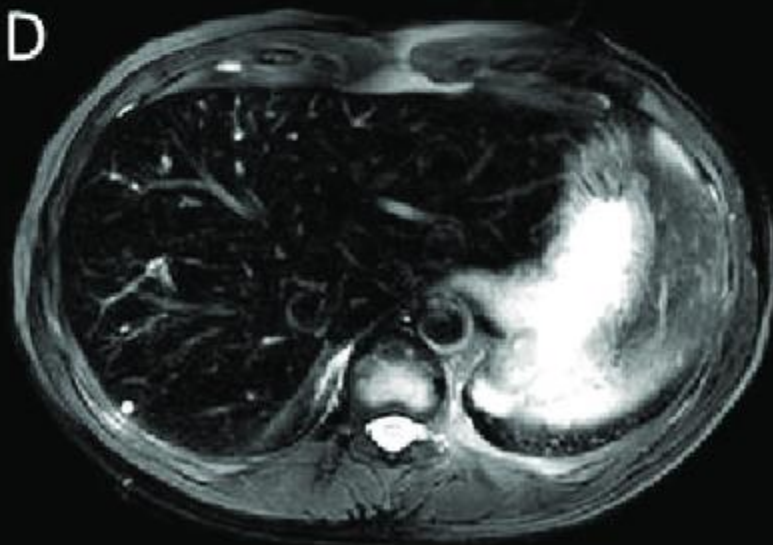
B



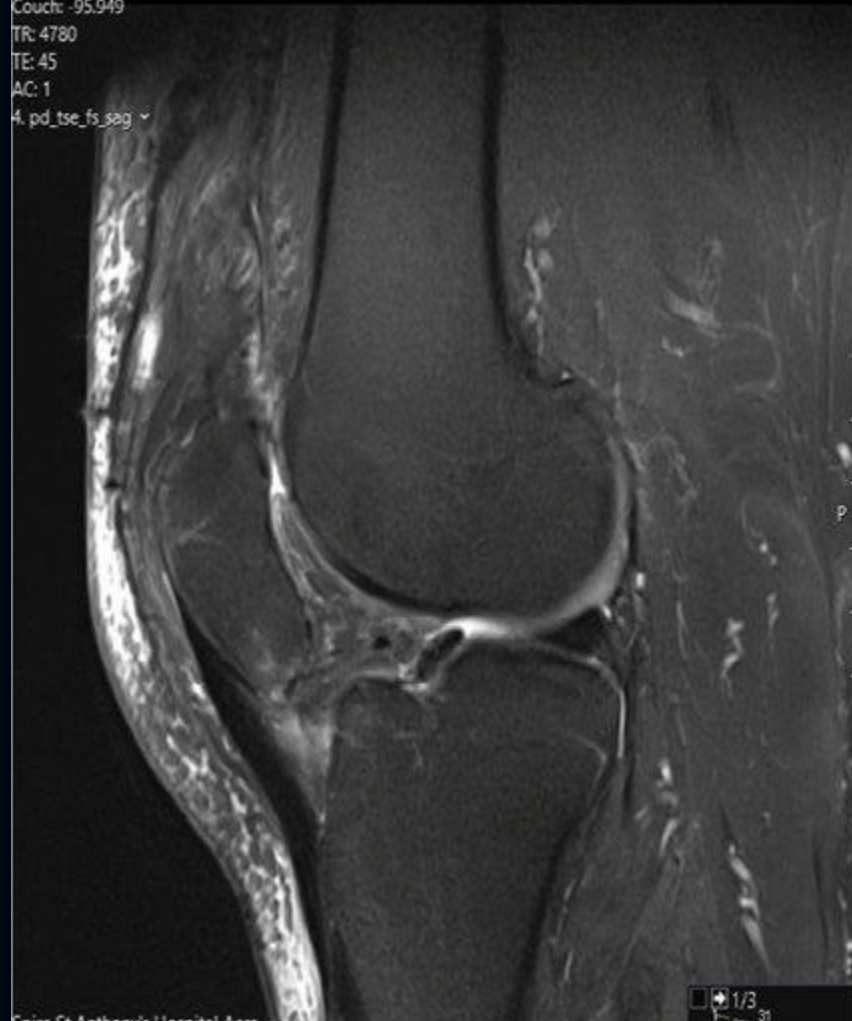
C



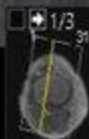
D



Sequence: *tse2d1_11
Slice: 3 mm
Couch: -95.949
TR: 4780
TE: 45
AC: 1
4. pd_tse_fs_sag ▾



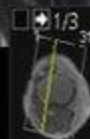
Spire St Anthony's Hospital Aera
Pos: FFS
Image no: 13
Image 13 of 31
Spire St Anthony's Hospital Aera



Sequence: *tse2d1_10
Slice: 3 mm
Couch: -99.249
TR: 3430
TE: 41
AC: 1
6. pd_tse_sag ▾



Spire St Anthony's Hospital Aera
Pos: FFS
Image no: 12
Image 12 of 31
Spire St Anthony's Hospital Aera

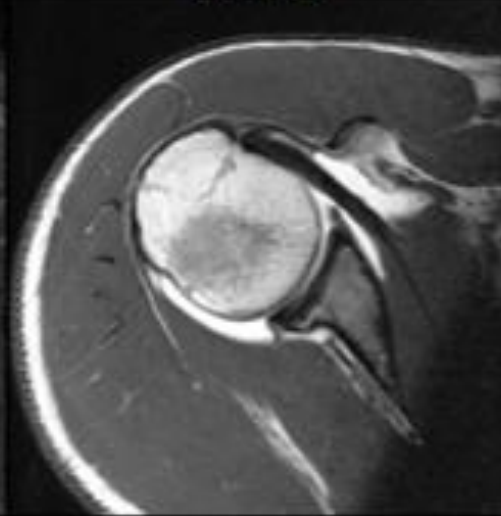


Shoulder MR Arthrogram

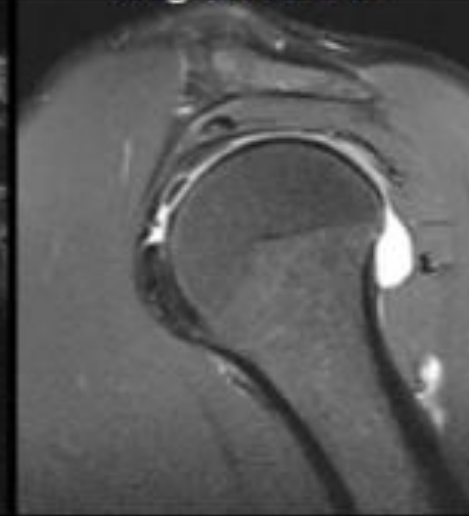
Axial PD FS



Axial T1



Sag Obl PD FS



Cor Obl T1 FS



Cor Obl T2 FS



ABER T1 FS

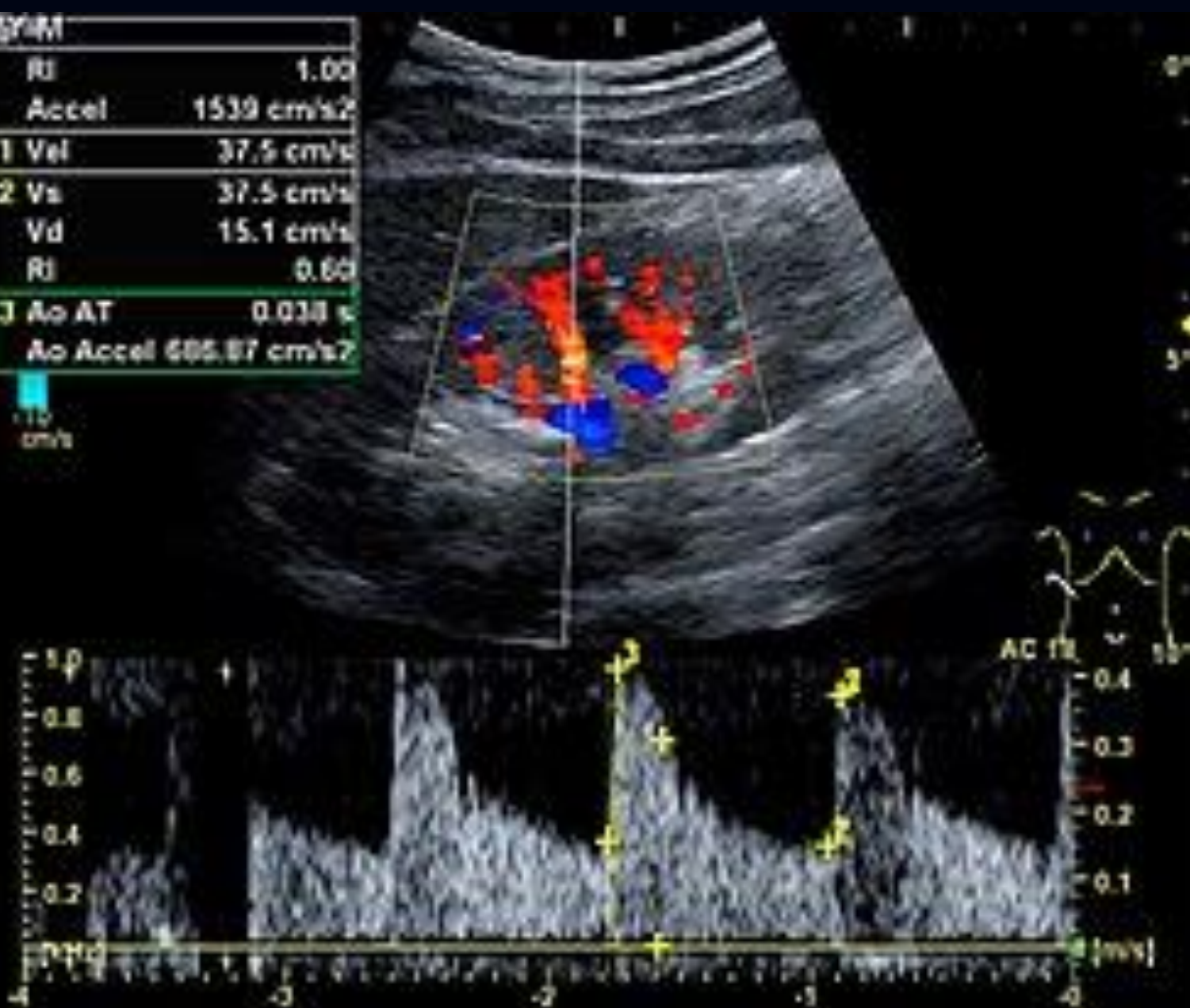
超音波掃描儀





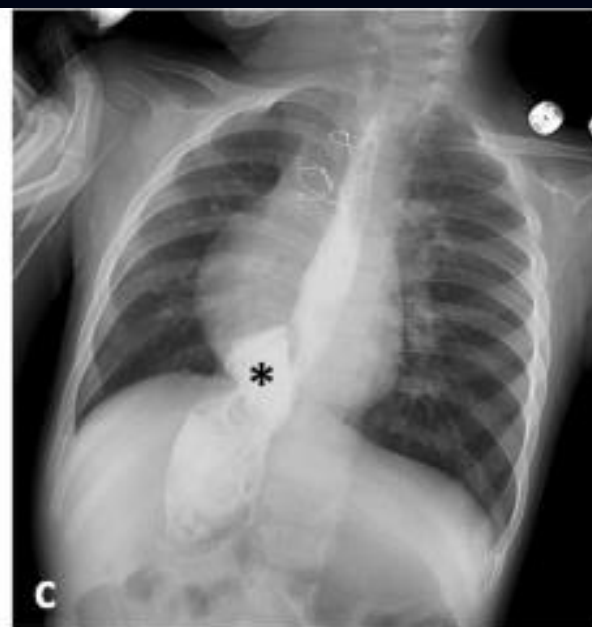
320mm	
Rt	1.00
Accel	1539 cm/s ²
1 Vel	37.5 cm/s
2 Vs	37.5 cm/s
Vd	15.1 cm/s
Rt	0.60
3 Ao AT	0.038 s
Ao Accel	685.87 cm/s ²

110
cm/s



遙控透視X光機









血管攝影X光機



血管攝影X光機



Radiocontrast agents

Iodinated contrast agents (ICAs)

Cystografin[®]
 Cystografin Dilute[®]
 MD-76R[®]
 Cholografin Meglumine[®]
 Conray[®]
 Conray[®]
 Oxilan[®]
 Visipaque[®]
 Omnipaque[®]
 Isovue[®]
 Isovue[®]
 Scanlux[®]

Gadolinium-based contrast agents (GBCAs)

Eovist[®]
 Magnevist[®]
 MultiHance[®]
 Omniscan[®]
 OptiMARK[®]
 ProHance[®]
 Gadavist[®]
 Dotarem[®]

Iron oxide-based contrast agents (SPIONs)

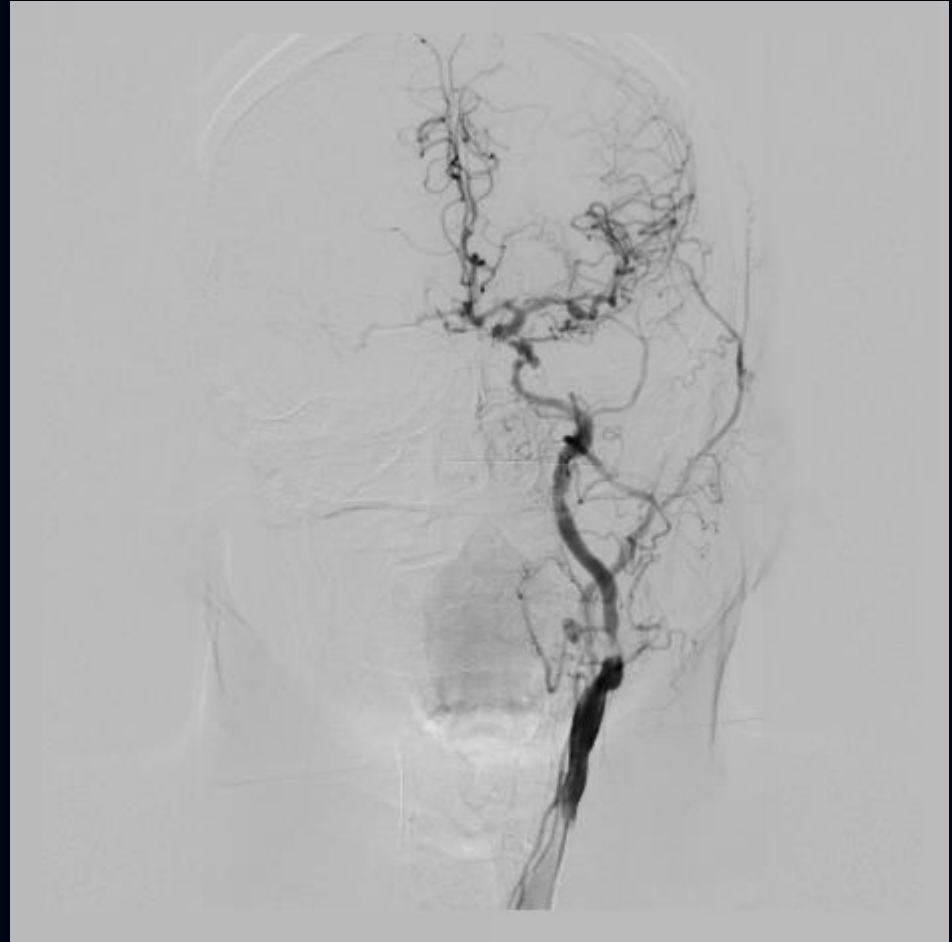
Ferumoxetyl[®]
 Feridex IV[®]
 Endorem[®]
 Resovist[®]
 Sinerem[®] (AMI-227)
 Ferumoxsil[®]
 Ferucarbotran[®]
 (SHU-555A)
 Feruglose NC100150
 Banges[®]

Echocardiography contrast media agents

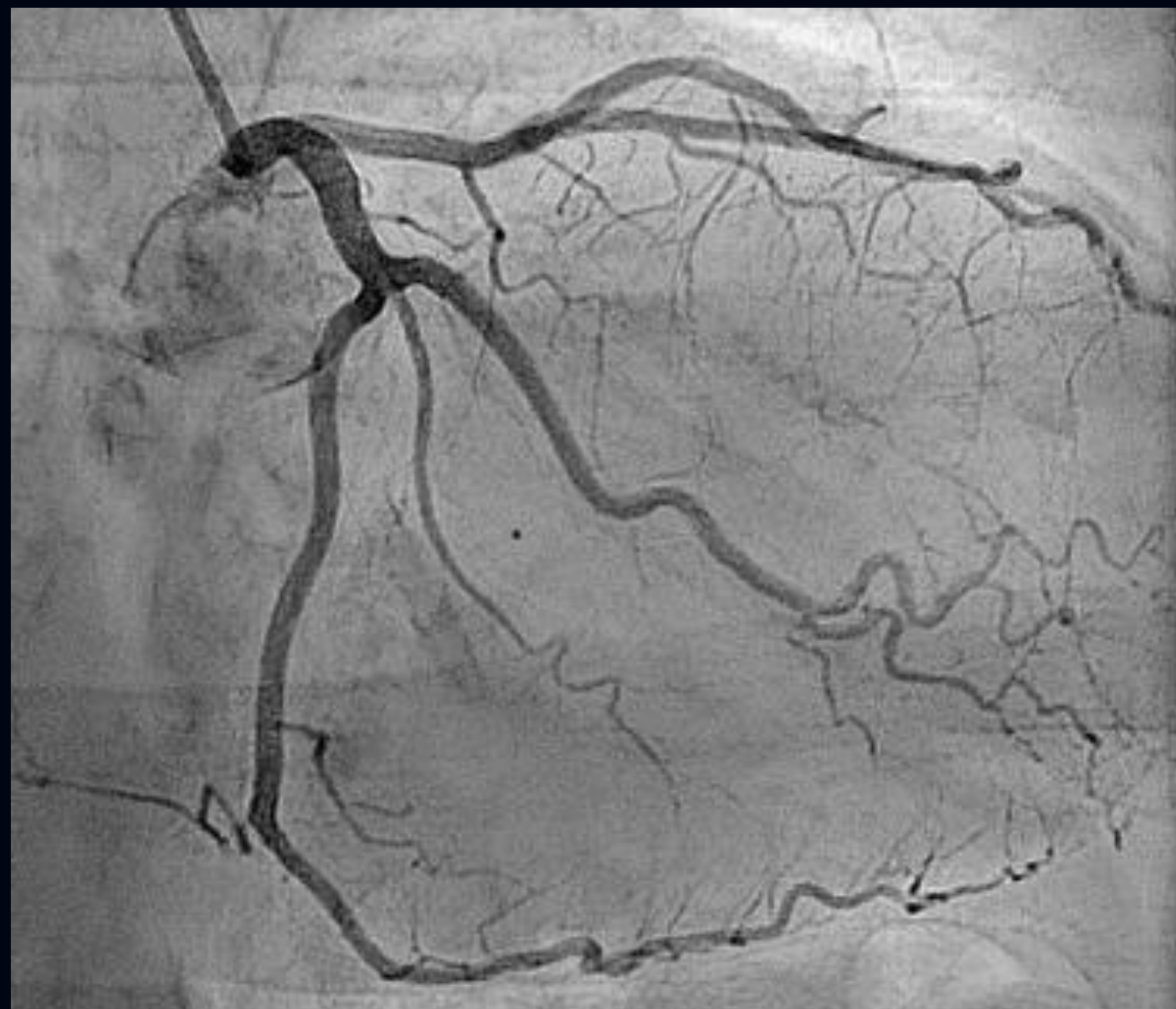
Optison[®]
 Definity[®]
 Lumason[®]



DSA – Digital Subtraction Angiography





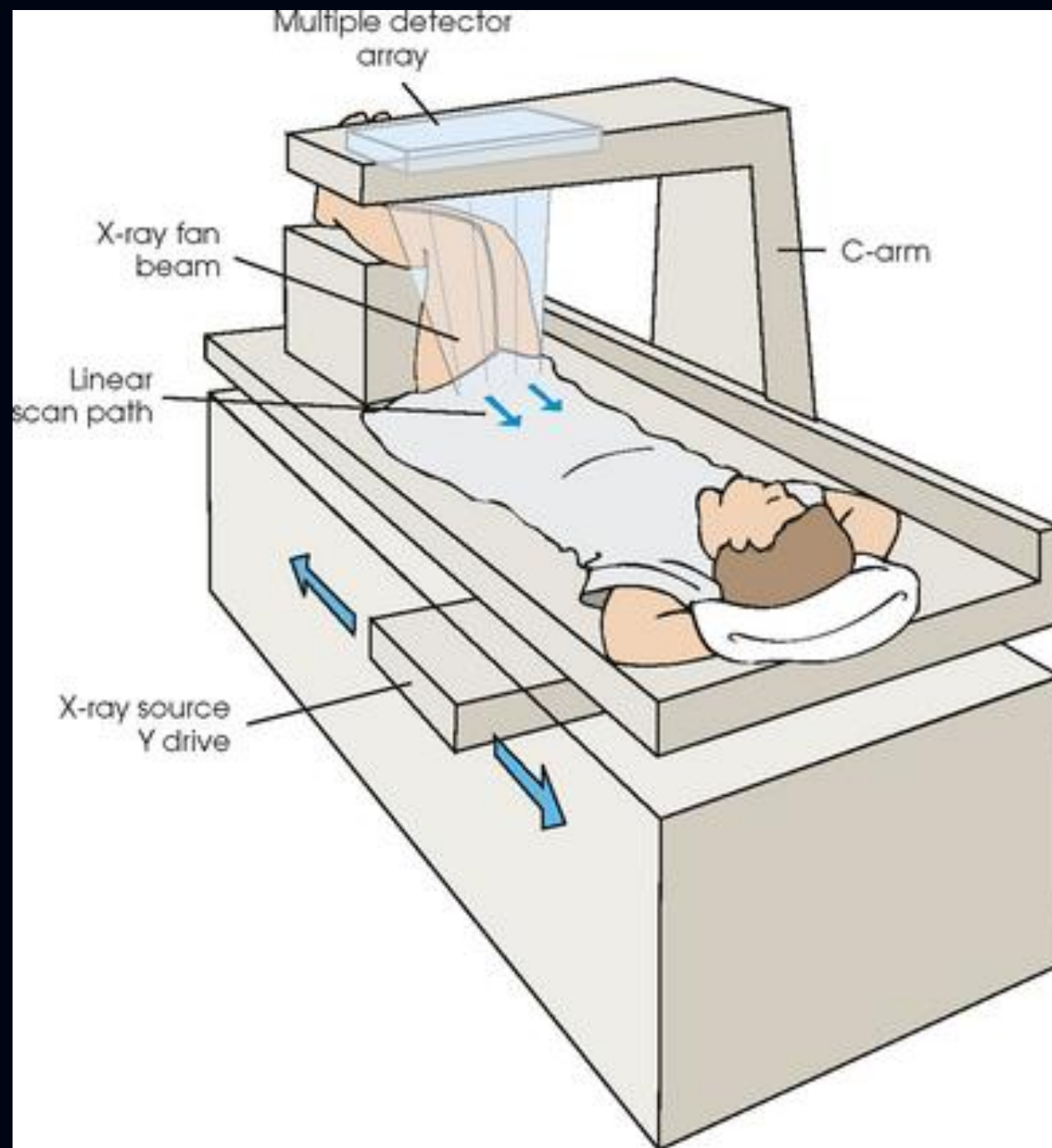






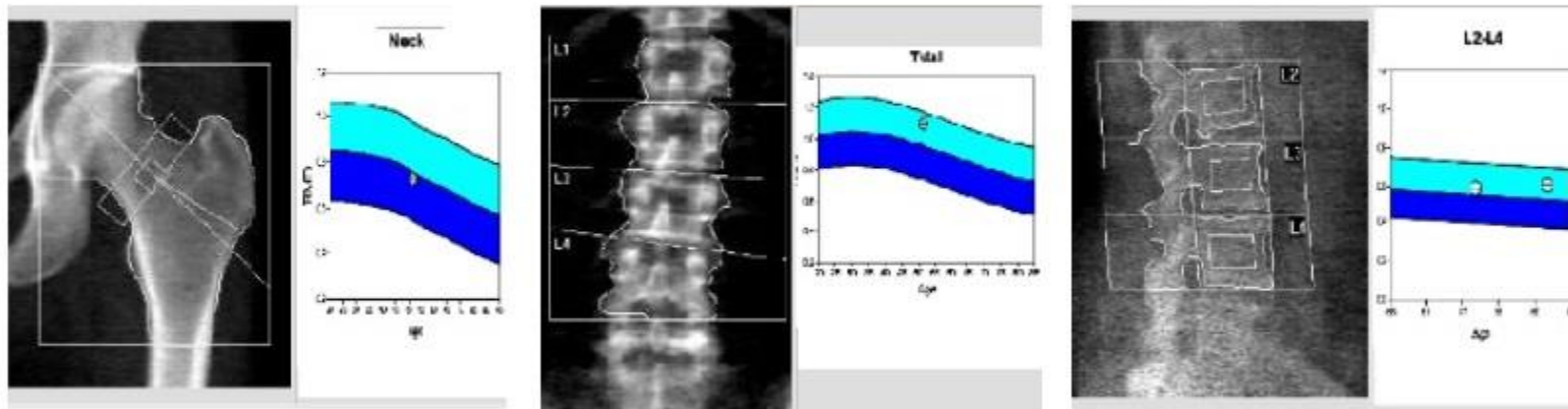
骨質密度儀





Dual-energy X-ray absorptiometry

DXA (DEXA) Scan



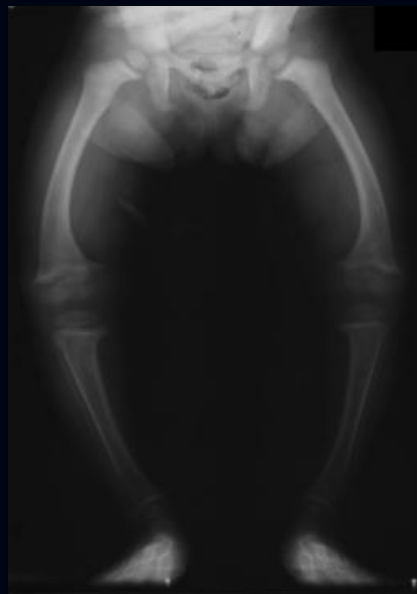
常見骨質異常

骨質疏鬆症-Osteoporosis

- 骨量低、骨組織的微架構衰退導致骨貧瘠
- 人類的最高骨骼密度通常在**30-40歲間就會達到最大**，隨後便會走下坡
- 骨質疏鬆症會隨著年紀增加而加重，約**15%**的白人50多歲起會出現症狀，80歲以上則會提高到**70%**；骨質疏鬆亦**多見於女性**，甚於男性患者
- 女人骨質流失最快的時期是停經後五年間，脊椎密度平均每年減少**3-6%**；男性骨質流失的速率則較為穩定，每年流失約**0.5-2%**

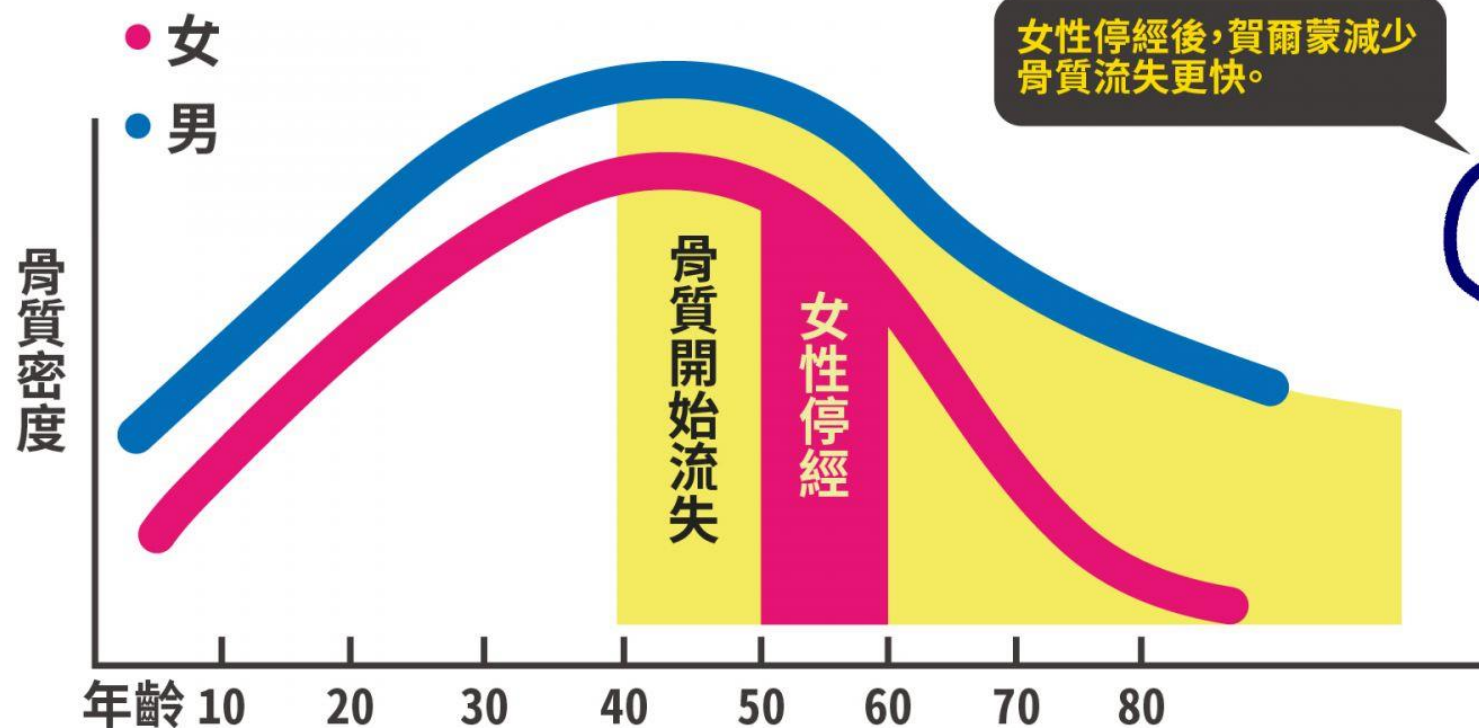
骨軟化症-Osteomalacia

- 因骨骼**代謝障礙**而引起的骨骼軟化疾病，原因有人體缺乏磷酸鹽、鈣和維生素D，或是鈣的骨質吸收作用

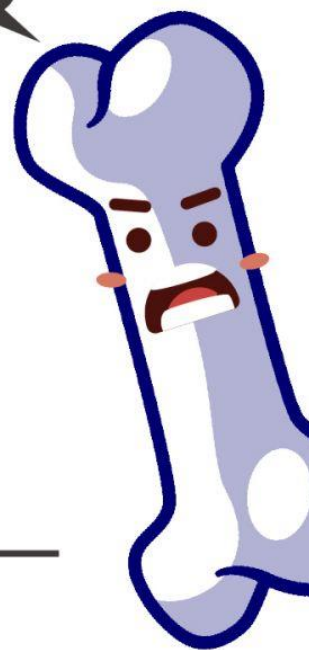


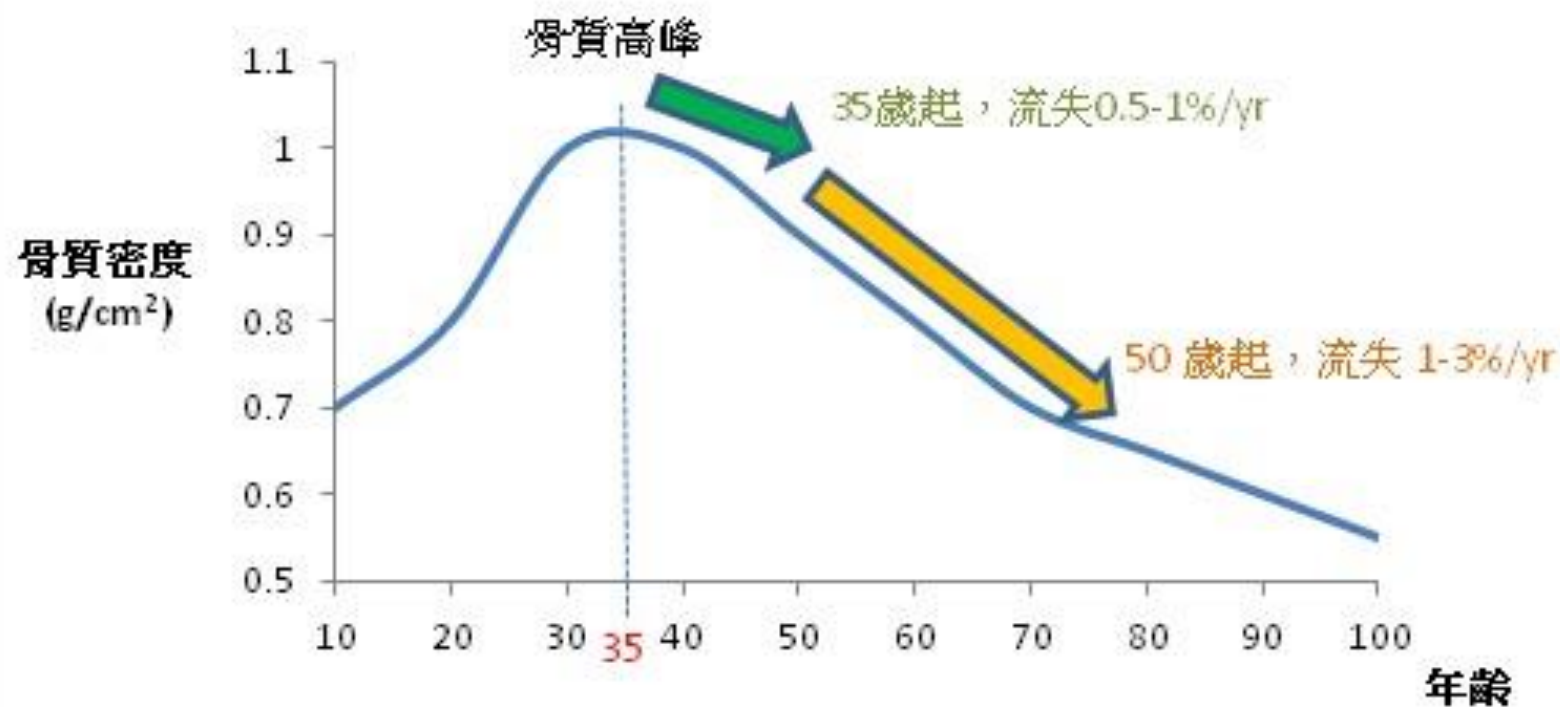
接受陽光照射時，皮膚中的黑色素會產生維生素D，**每日只需進行三十分鐘左右的戶外活動**已能讓身體產生人體需要的維生素D。但是不能擦防曬或是防曬霜係數不能大於SPF8。

年齡與骨質含量變化



女性停經後，賀爾蒙減少
骨質流失更快。





成人自 35 歲起，隨年齡增加，每年骨質流失約 0.5~1%；50 歲起流失更快，每年流失約 1~3%

受檢者:

生日:

身高/體重: 150.0cm 52.0kg

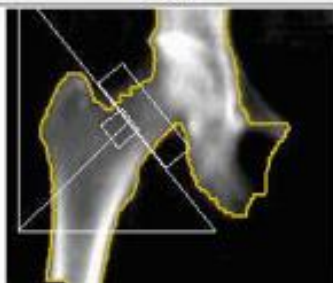
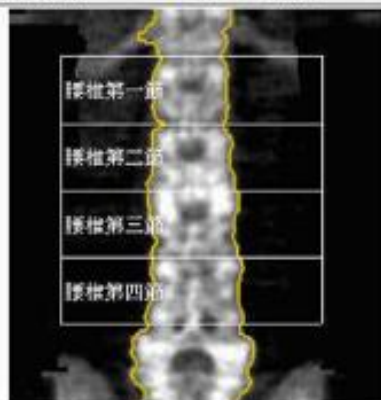
性別/種族: 女性 亞洲人

測量:

2021/3/22 下午 04:34:30 (12:30)

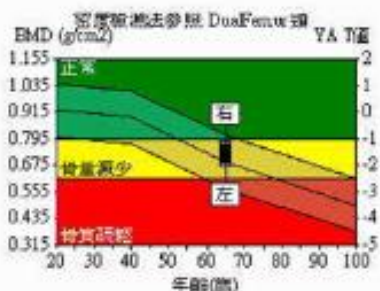
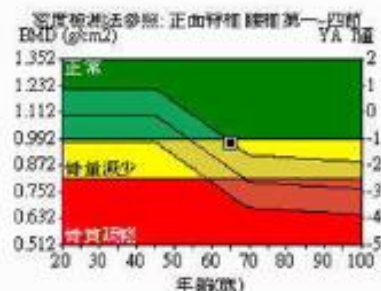
分析:

2021/3/22 下午 04:45:38 (12:30)



影像不用作診斷

影像不用作診斷



區域	骨密度 (g/cm ²)	年輕的成年人 (%)	T-值評分	與同年齡正常人群 (%)	Z-值評分	世界衛生組織分類
正面脊椎 腰椎第一~四節	0.971	87	-1.2	114	1.0	骨量減少
DualFemur 頸						
左	0.697	76	-1.8	101	0.1	骨量減少
右	0.749	82	-1.4	109	0.5	骨量減少
均值	0.723	79	-1.6	105	0.3	骨量減少
差別	0.052	6	0.4	8	0.4	-

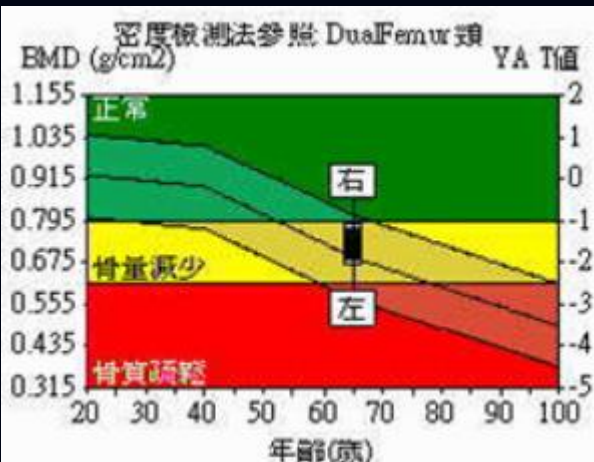
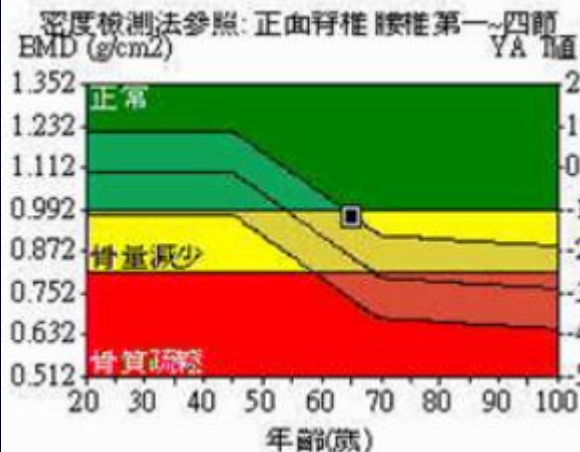
1. 根據統計上50%的數據標準在(國際標準內)。(±0.003g/cm² for 正面脊椎第一~四節) (±0.002g/cm² for DualFemur頸)

2. 亞洲(年齡20-40) 正面脊椎 參照人群(±1.0); 亞洲(年齡20-40) 股骨 參照人群(±1.0)

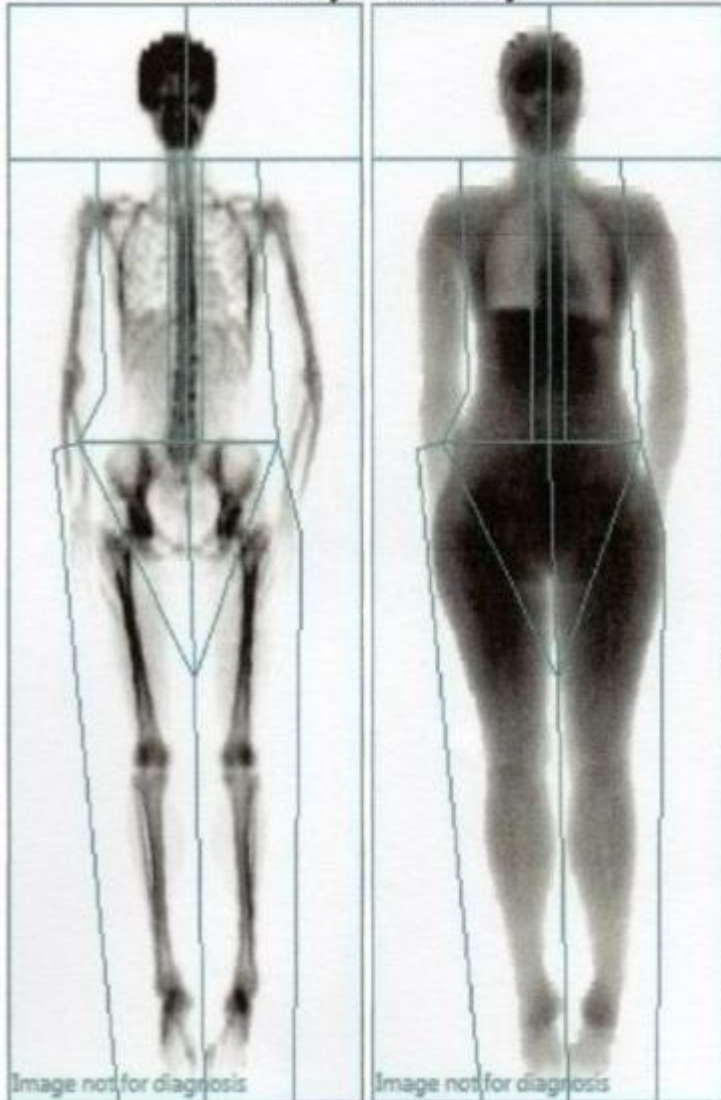
3. 正面脊椎用年齡、體重(女性25-80kg)、偏瘦比較校正 DualFemur用年齡、體重(女性25-80kg)、偏瘦比較校正

7. DualFemur 全部T-值低於-0.4, 不計異常。

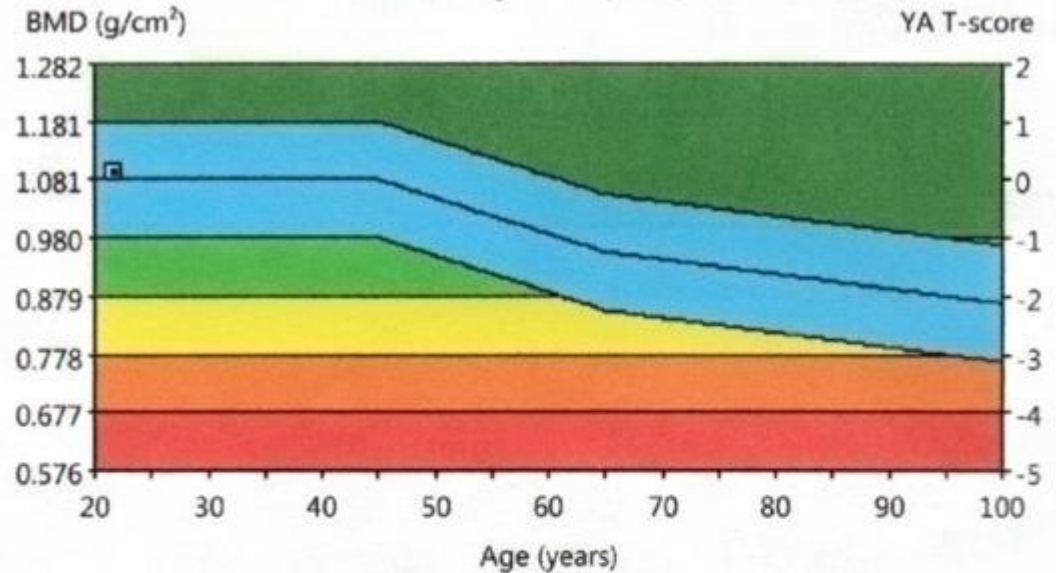
11. WHO世界衛生組織, 對於非加爾白種人骨質疏鬆症以及低骨量的判定標準為: 正常-T-值>-1.0SD; 低骨量-T-值介於-1.0~-2.5SD; 骨質疏鬆症-T-值<-2.5SD; (WHO世界衛生組織的判定標準只用在T-值判定是基於年輕健康的人加爾白種人參考值或標準值。)



Total Body Bone Density



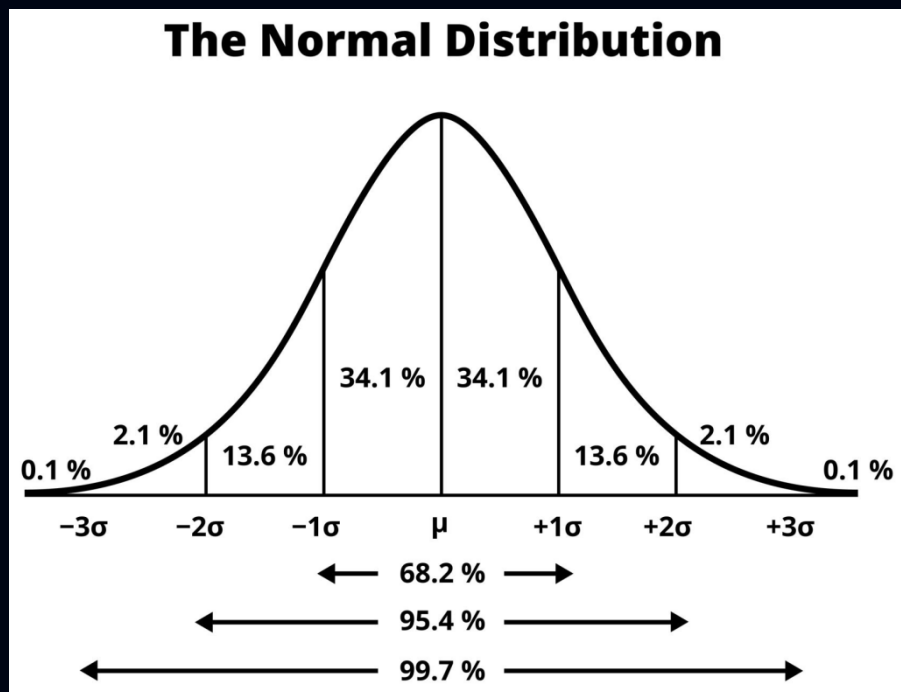
Total Body: Total (BMD)



Densitometry: USA (Combined NHANES/Lunar) (Enhanced Analysis)

Region	BMD (g/cm ³)	YA	AM
		T-score	Z-score
Head	2.223	-	-
Arms	0.830	-	-
Legs	1.057	-	-
Trunk	0.880	-	-
Ribs	0.708	-	-
Spine	0.971	-	-
Pelvis	0.970	-	-
Total	1.096	0.2	0.2

T-score 及 Z-score



$$Score = \frac{\text{檢查結果} - \text{參考值}(\mu)}{\text{標準差}(\sigma)}$$

■ T-score

- T 值是將檢查結果與三十歲左右的健康成年人進行比較

T-score	骨質狀況
$+1.0 \leq T \leq -1.0$	正常
$-1.0 < T < -2.5$	骨質減少
$T \leq -2.5$	骨質疏鬆症
$T < -2.5$ 且曾骨折	嚴重的骨質疏鬆症

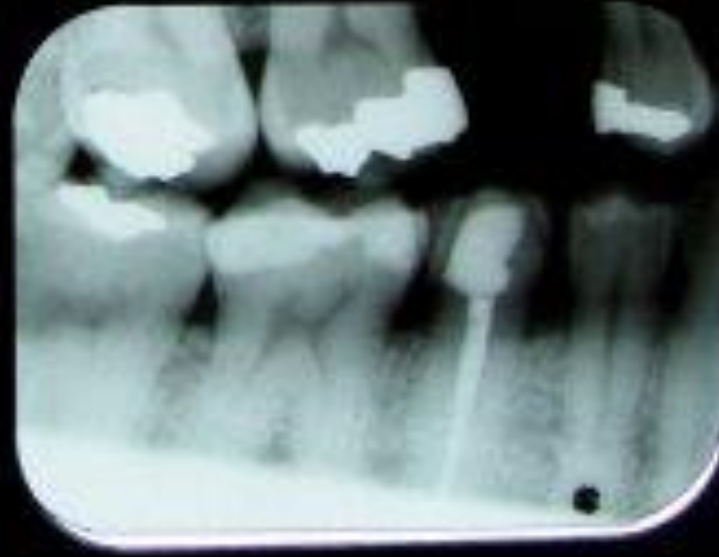
■ Z-score

- Z 值是將檢查結果與同齡人做比較得出的值

Z-score	骨質狀況
$Z > -2.0$	介於同齡的預期值
$T \leq -2.0$	低於同齡的預期值

一般/全口牙科X光機

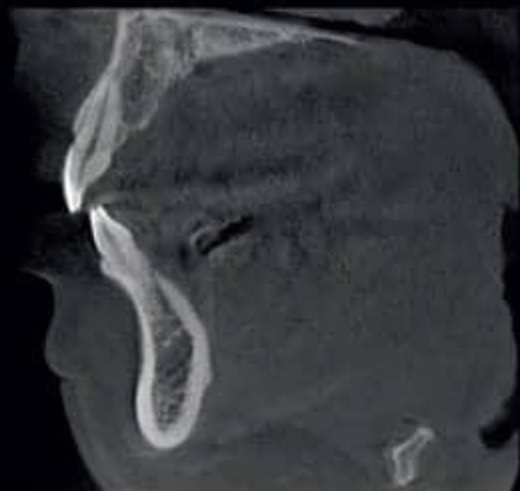
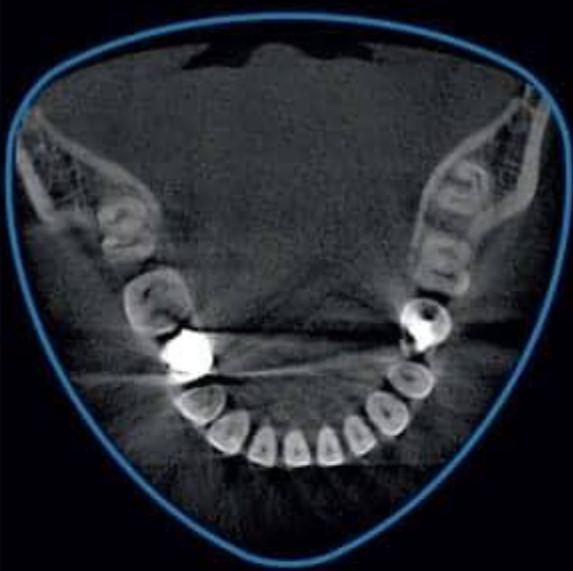




全口斷層牙科X光機



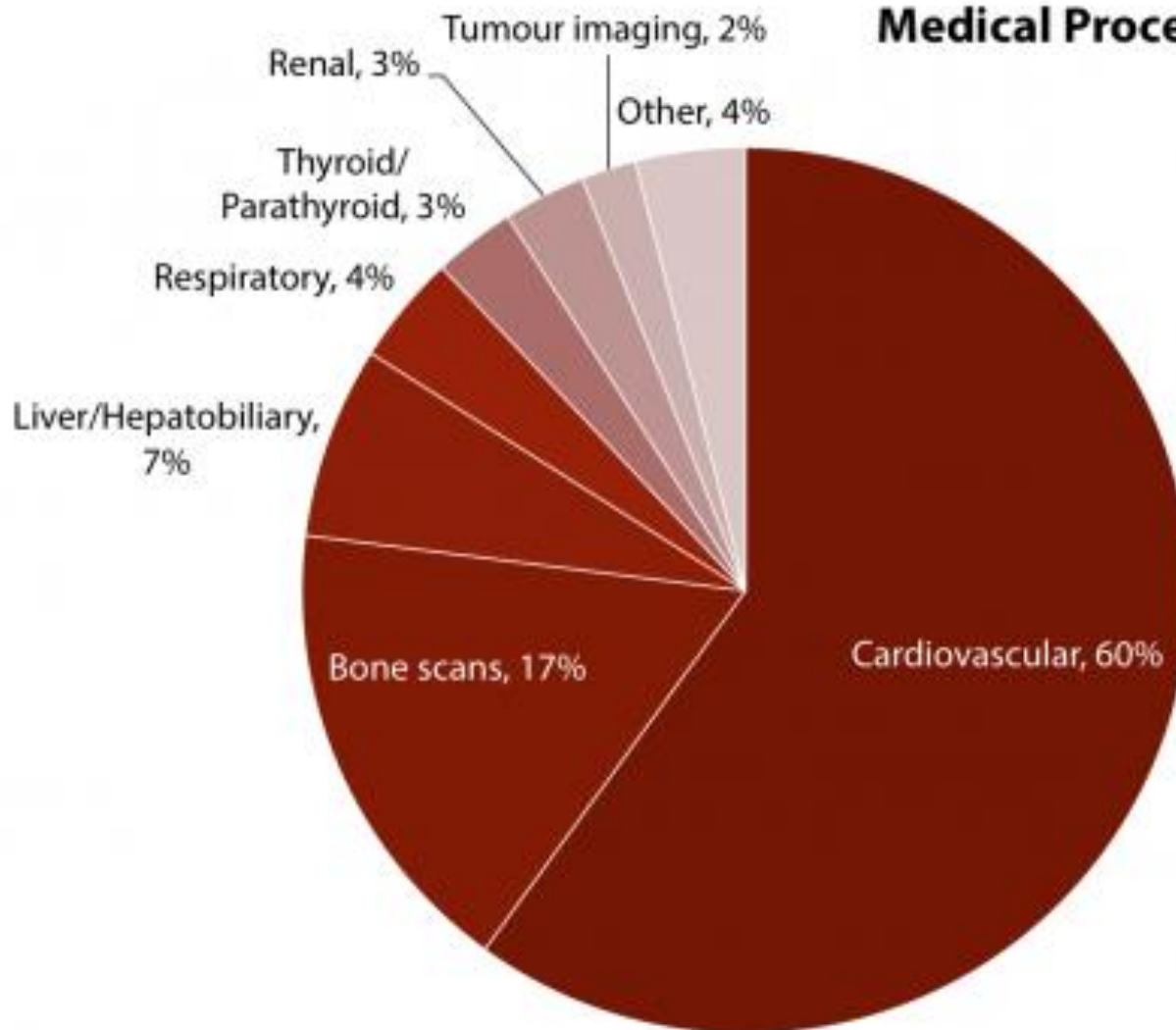




加馬掃描儀

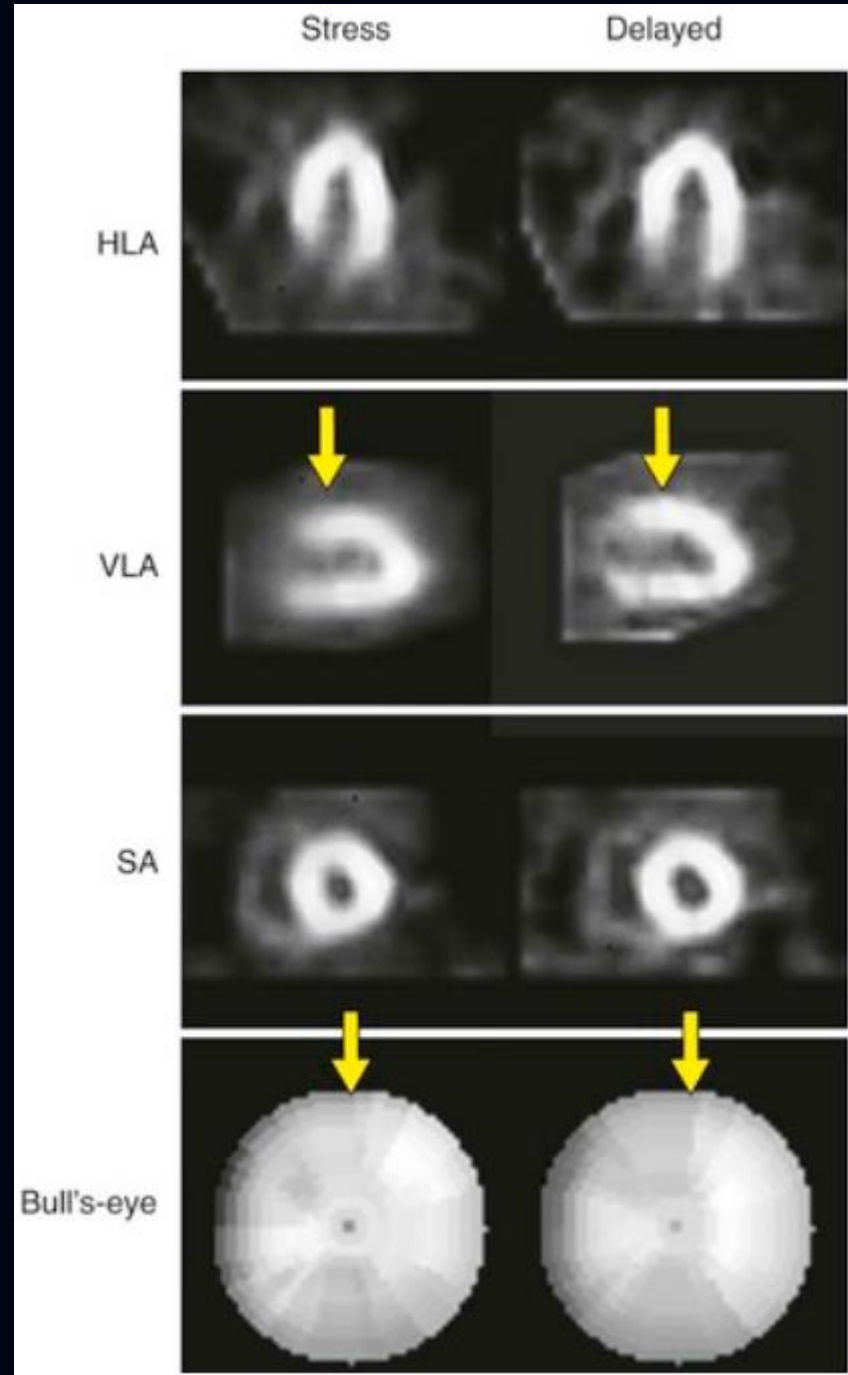
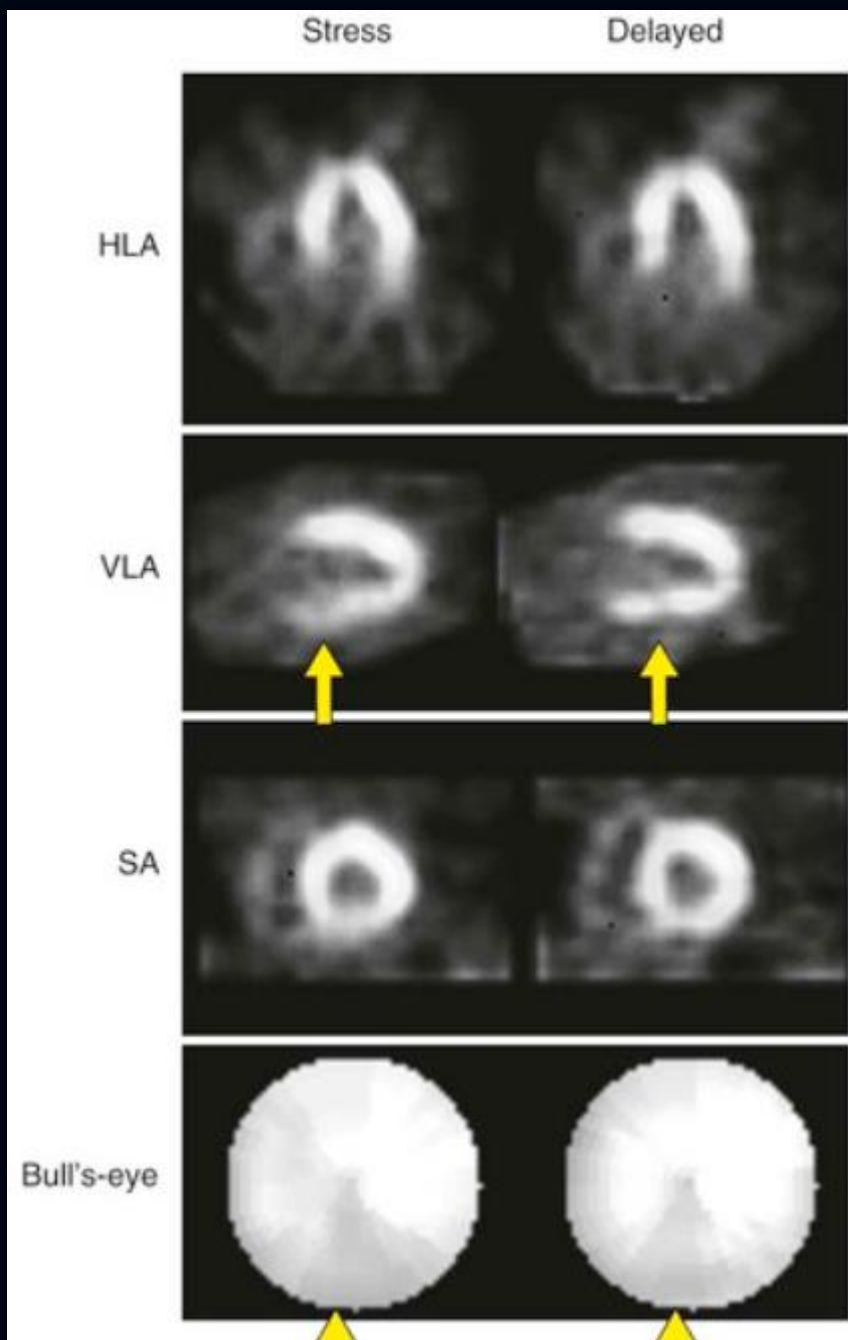


鎝-Techneium 99m , ^{99m}Tc



6 VIB	7 VII B	8
24 Cr 鎢 3 6 $4s^1 3d^5$ 1.66 51.996 Chromium	25 Mn 錳 2 4 7 $4s^2 3d^5$ 1.55 54.938 Manganese	26 Fe 鐵 2 3 6 $4s^2 3d^6$ 1.83 55.845 Iron
42 Mo 鉬 4 6 $5s^1 4d^5$ 2.16 95.95 Molybdenum	43 Tc 鎝 4 7 $5s^0 4d^5$ 1.90 (98) Technetium	44 Ru 鈷 3 4 $5s^1 4d^7$ 2.20 101.07 Ruthenium
74 W 鎢 4 6 $6s^2 4f^{14} 5d^4$ 2.36 183.84 Tungsten	75 Re 鋨 4 7 $6s^2 4f^{14} 5d^5$ 1.90 186.207 Rhenium	76 Os 銱 4 $6s^2 4f^{14} 5d^6$ 2.20 190.23 Osmium
106 Sg 鎢 7 6 $7s^2 5f^{14} 6d^4$ (269) Seaborgium	107 Bh 鉭 7 6 $7s^2 5f^{14} 6d^5$ (270) Bohrium	108 Hs 鐳 7 6 $7s^2 5f^{14} 6d^6$ (269) Hassium

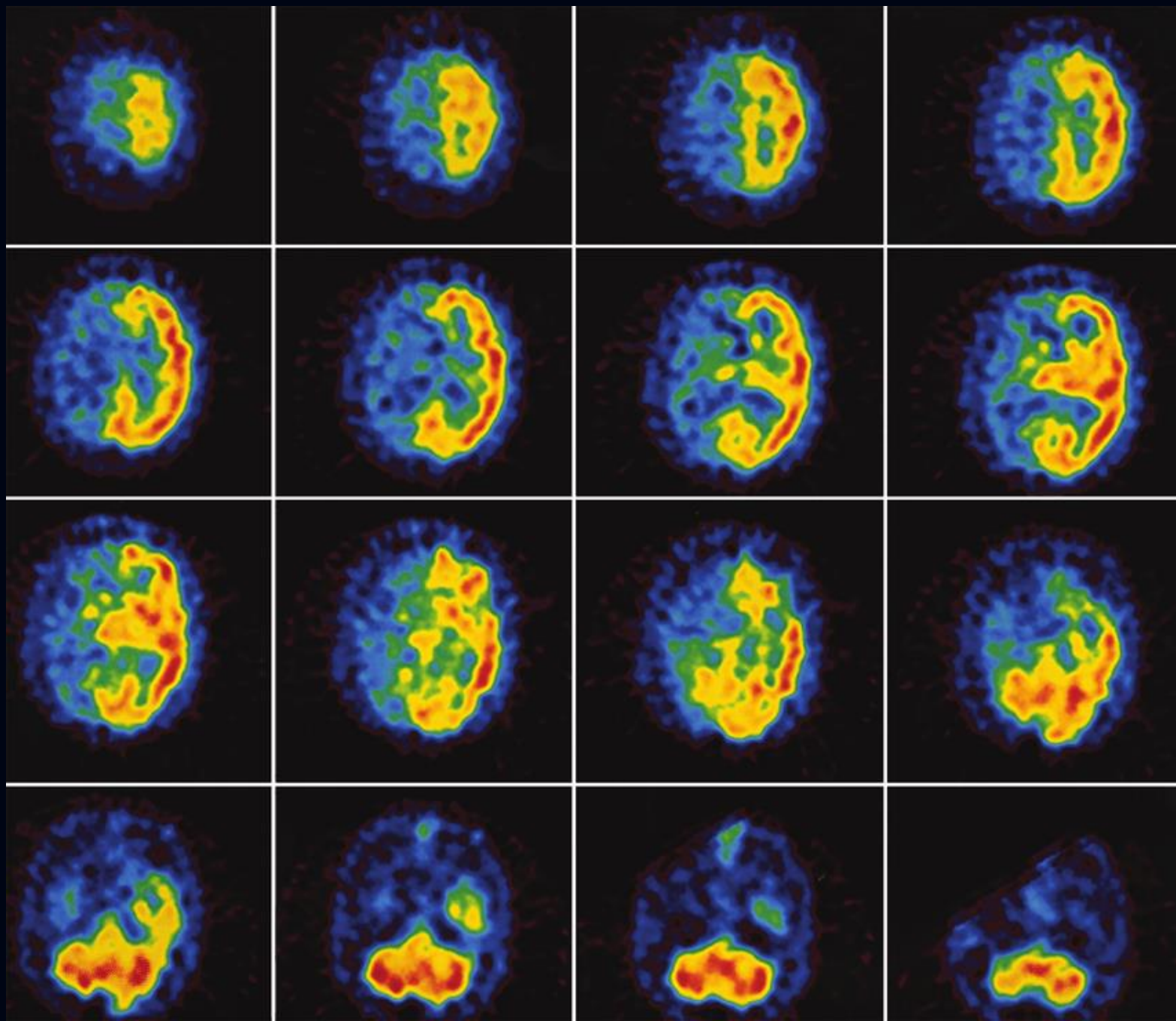
Data Source: IMV 2007 Nuclear Medicine Market Summary Report
October 2007, SECOR Analysis





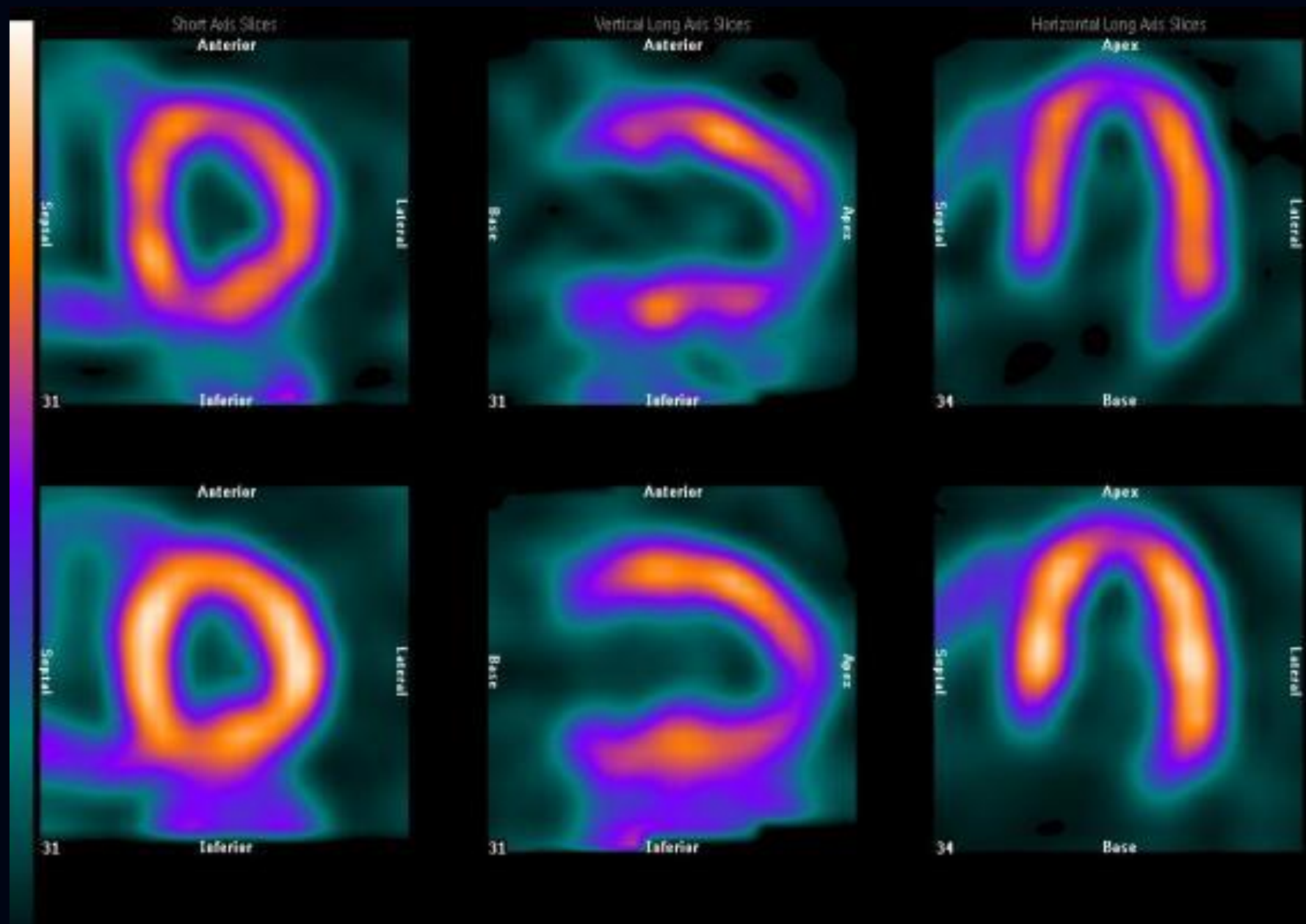
單光子斷層掃描儀

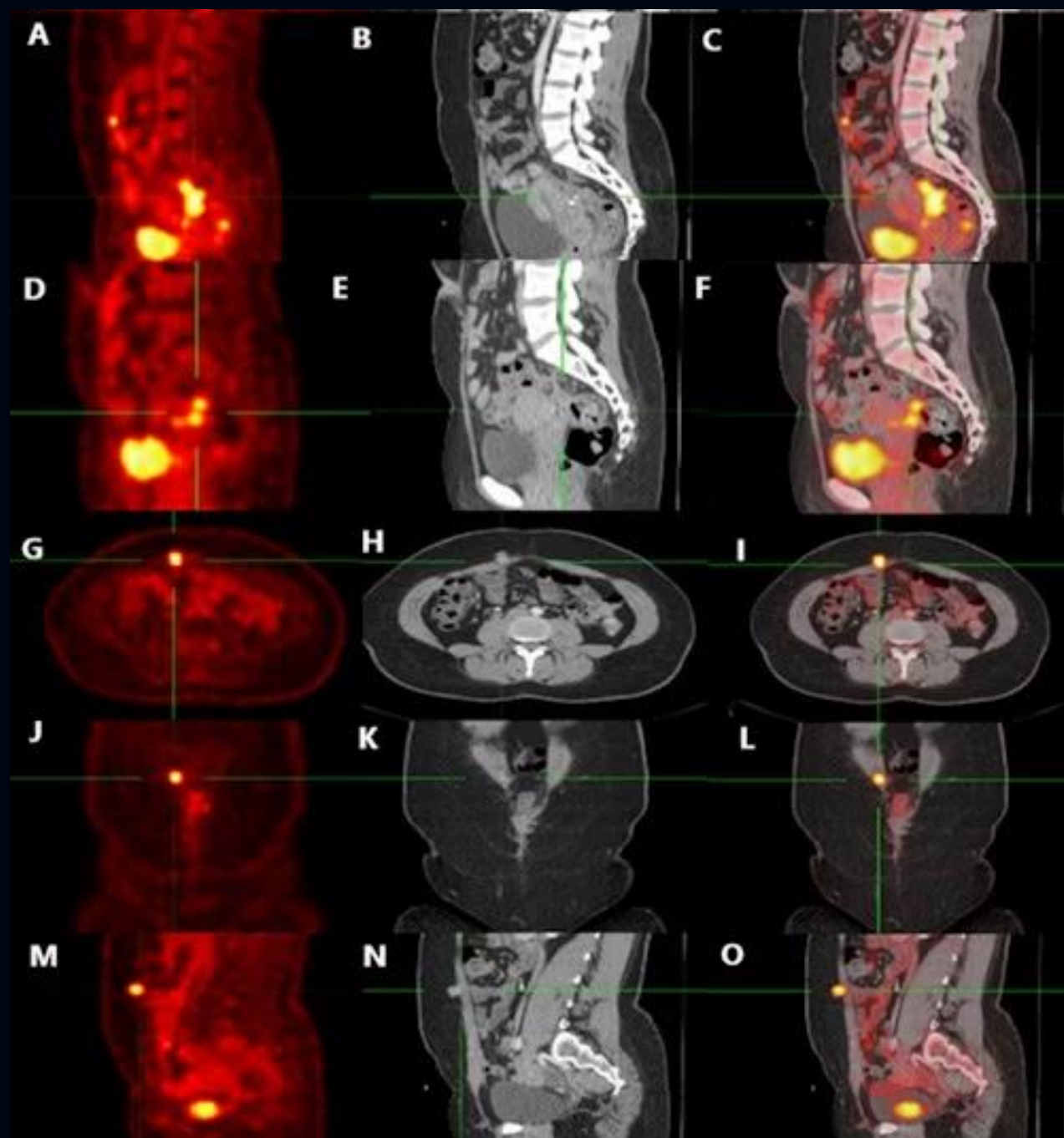




正子斷層掃描儀

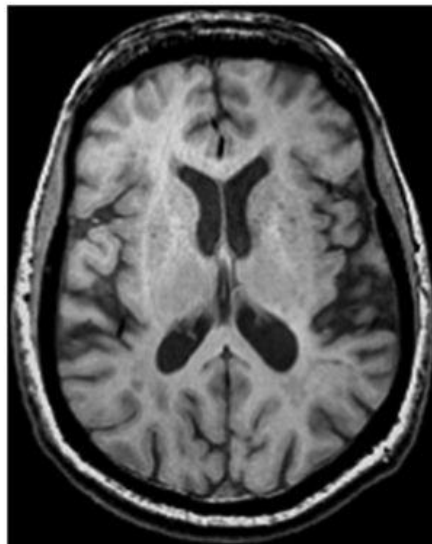




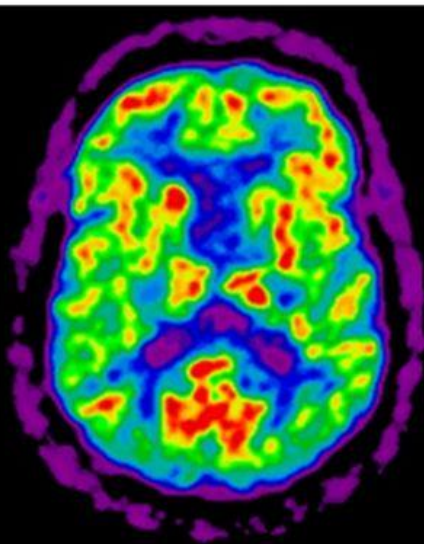


正子磁振掃描儀

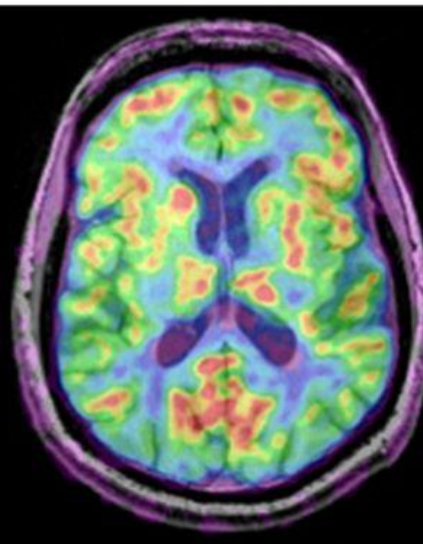




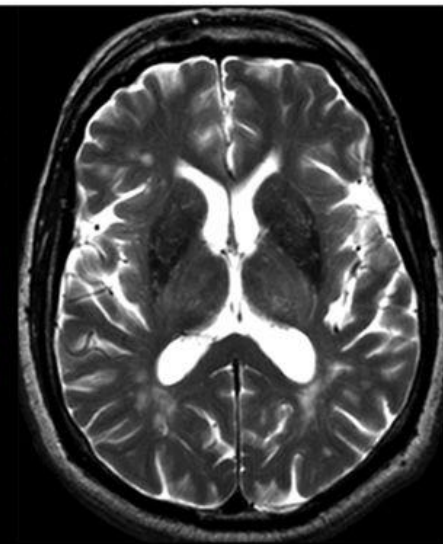
MPRAGE



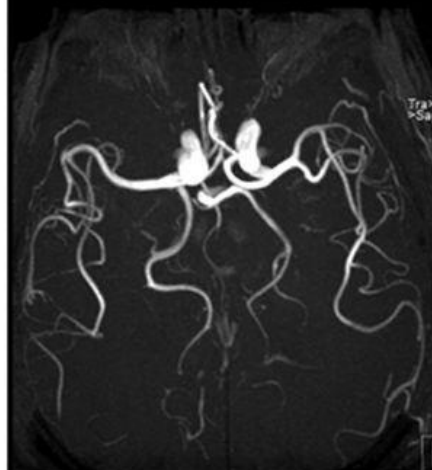
PET



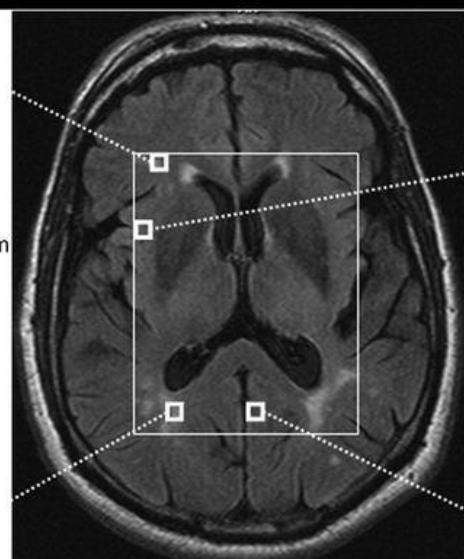
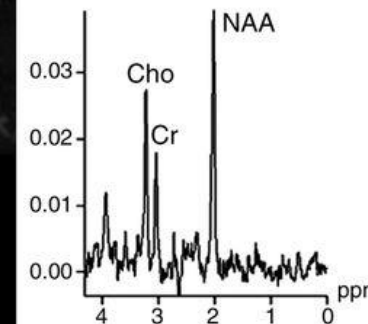
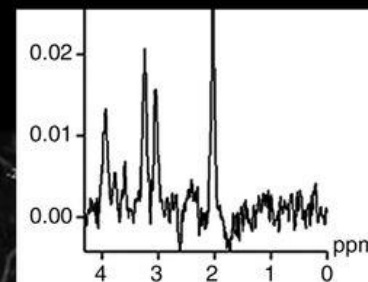
Fused PET/MRI



T2 TSE



Time-of-flight MR angiography



MRS

斷層模擬定位儀



Targets

CTV

1 goal

Scheduled

Adapted

Goal: D98.00 % > 100.00 %

Goal/Fx: D98.00 % > 1.80 Gy

P2

95.33%

99.99%

100.01%

99.99%

PTV

2 goals

Scheduled

Adapted

Goal: V95.00 % > 95.00 %

Goal/Fx: V1.71 Gy > 95.00 %

P2

95.16%

98.19%

98.21%

98.19%

Goal: Dmax(0.50 cm) ≤ 105.00 % P2

Goal/Fx: Dmax(0.50 cm) ≤ 1.89 Gy

111.37%

110.76%

111.00%

110.76%

CTV-N

No goal defined

CTV-T

No goal defined

GTV Primary

No goal defined

Organs

Bladder

3 goals

Scheduled

Adapted

Goal: Dmax(0.50 cm) ≤ 47.30 Gy P1

Goal/Fx: Dmax(0.50 cm) ≤ 1.89 Gy

P1

1.93Gy

1.89Gy

1.900Gy

1.89Gy

Goal: V40.00 Gy < 75.00 %

Goal/Fx: V1.60 Gy < 75.00 %

P2

33.73%

31.62%

54.18%

54.18%

Goal: V30.00 Gy < 85.00 %

Goal/Fx: V1.20 Gy < 85.00 %

P2

74.54%

57.84%

Scheduled Plan

Targets (2 goals)

Organs (2 goals)

Adapted Plan

Targets (1 goal)

Organs (2 goals)

DVH

REF

+

-

Hand icon

Light icon

Eye icon

Adapted Plan: IM01/ADP17.01

Reference Plan: IM01

CBCT: KVCBCT_17c01

Axial

Gy

2.02

1.71

1.50

1.00

0.50

0.00

CT: CT

Axial

Gy

2.02

1.71

1.50

1.00

0.50

0.00

W: 500 HU

L: 50 HU

I 40.00 cm 43/80 +0.45 cm

Sagittal

Coronal

I 26.55 cm +0.05 cm

I 26.55 cm +0.05 cm

W: 500 HU

L: 50 HU

I 40.00 cm 45/117 +0.30 cm

Sagittal

Coronal

I 26.55 cm 0.00 cm

I 26.55 cm +0.05 cm

Treat with Adapted Plan

Edit Contours

Restart Session

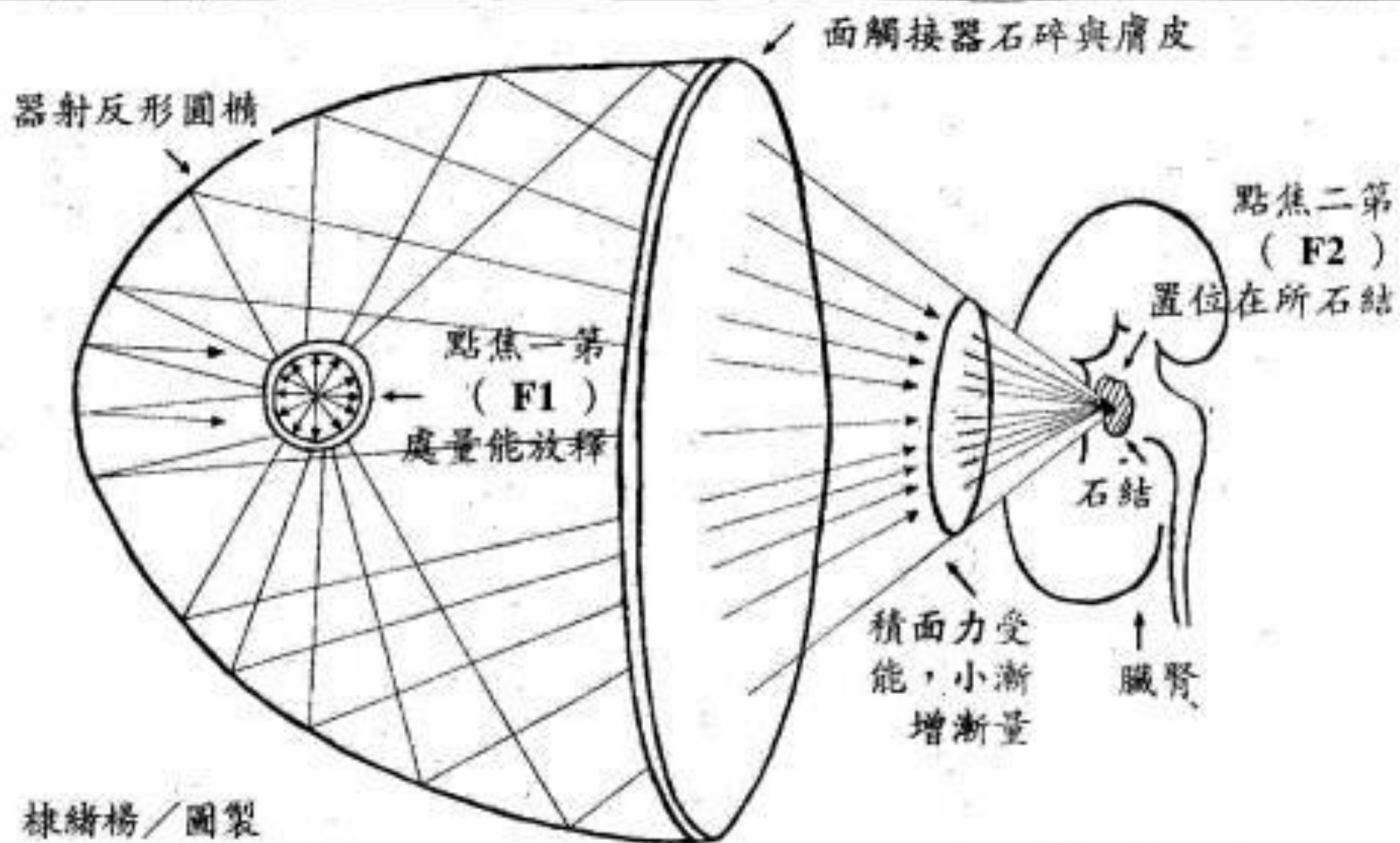
C-Arm X光機





震波碎石機





楊緒棟 / 圖製

輻射警示燈號



開機通電：綠燈亮
輻射照射中：紅燈亮

輻射安全測試報告

四、檢查項目：(以✓註記於□內；免驗項目劃☐並說明)

檢測日期：114 年 05 月 06 日

檢 查 內 容	合格
1. 「設備」與原廠型錄及圖說相符。(適用「新申請」案)	☐
2. 裝有安全連鎖裝置及明顯警示燈，拆卸、開啟照射室門或「設備」防護罩時，將自動停止產生輻射。	✓
3. ☐ 「設備」之照射室人員無法進入； ☒ 裝有視窗或閉路電視，得以確認照射時照射室內無人逗留； ☐ 照射室內備有啟動照射之警示、緊急停止照射及緊急開門等裝置。	✓
4. 「設備」之外表面有明顯可見的輻射示警標誌，及表示「本儀器內含輻射源，報廢前應經原子能委員會核准」之警語。	✓
5. 獸醫用「設備」具有適當之輻射防護裝具。(檢附照片)	☐
6. 偵測結果如下(請填附頁)： ①管制區外： 0.07-0.1 $\mu\text{Sv/hr}$ ($>0.5 \mu\text{Sv/hr}$ 者需附符合劑量限度說明)。 ②管制區內 ☒ 無人員居佔(免測劑量率)； 0.07-0.1 $\mu\text{Sv/hr}$ 管制區內 ☐ 有人員居佔，劑量率：_____ $\mu\text{Sv/hr}$ ($\geq 10 \mu\text{Sv/hr}$ 者需附符合劑量限度明)。 ③ ☐ 「櫃型或行李檢查 X 光機、離子佈植機、電子束焊機或靜電消除器」正常使用時，可接近表面 5 公分處劑量率：_____ $\mu\text{Sv/hr}$ (不得 $>5 \mu\text{Sv/hr}$)。 檢查條件： 100 kVp 2.5 mA 100 sec 背景輻射： 0.07-0.1 $\mu\text{Sv/hr}$ 偵測儀器廠牌：ATOMTEX 型號： AT1121 序號： 43418 校正單位： 清華大學 校正日期： 114 年 03 月 05 日	✓

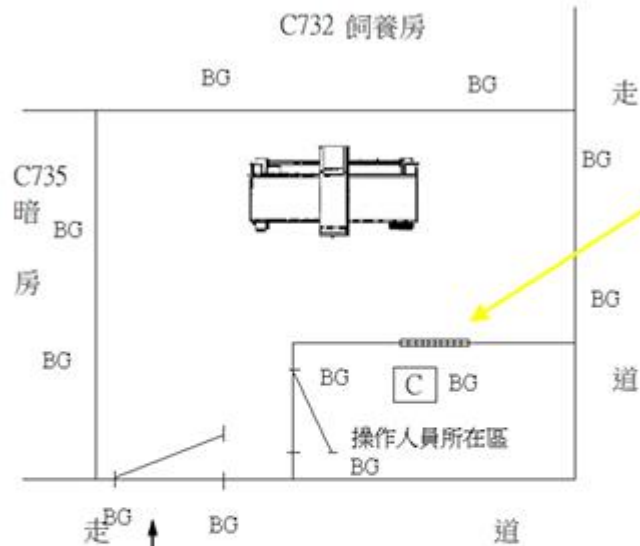
曝露劑量 $>100 \text{ mSv}$ 會有確定傷害

輻射安全測試報告

1、使用場所周圍環境(道路)示意圖及裝設處所、房間或儲存位置之平面圖：

(測得之劑量率請註明於圖上相關位置，並標示輻射源位置及管制區範圍。)

(欄位空間如不足，請自行增添頁面。)



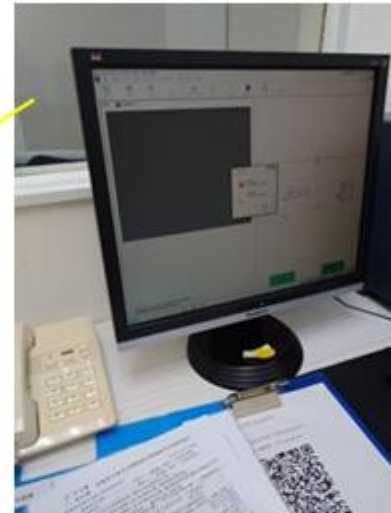
此門打開設備就停止
門上有警示燈
照射時會鎖此門

背景值：0.07-0.1 $\mu\text{Sv/hr}$

樓上：教師研究室 測值：BG

樓下：教室 測值：BG

X光室位置：7F(C733)



重點！重點！重點！

游離輻射防護法

一般民眾年劑量限值
1 毫西弗 / 年

法規防護目標：

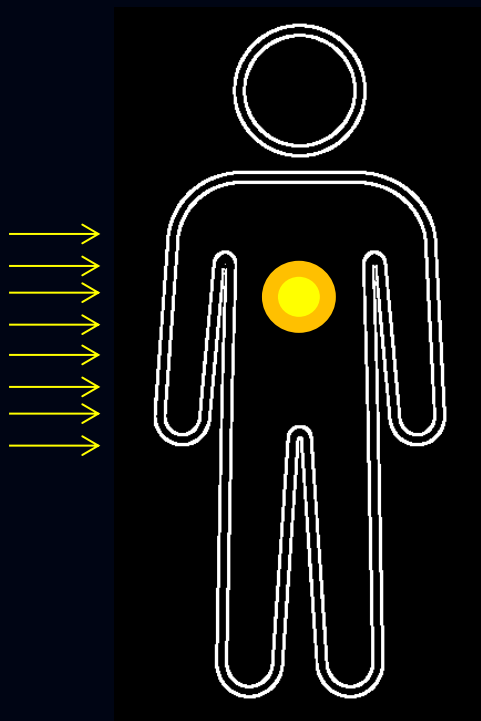
1. 預防新輻射源避免人體接收過多輻射劑量
2. 檢驗已知輻射源避免人體接收過多輻射劑量

(不含天然背景輻射及醫療劑量)

輻射作業 原則：

1. 應防止確定效應之發生及抑低機率效應之發生率
2. 符合下列規定：
 - a. 利益須超過其代價
Justification
 - b. 考慮經濟及社會因素後，一切曝露應合理抑低
Optimization
 - c. 個人劑量不得超過輻防標準之限定值
Dose Limitation

游離輻射防護安全標準



重點! 重點! 重點!

體外曝露輻射防護原則

時間
(Time)

曝露劑量與時間成正比

距離
(Distance)

曝露劑量與距離平方成反比

屏蔽
(Shielding)

曝露劑量與厚度指數成反比

$$I = I_0 \times e^{-\mu x}$$

