

醫學影像安全

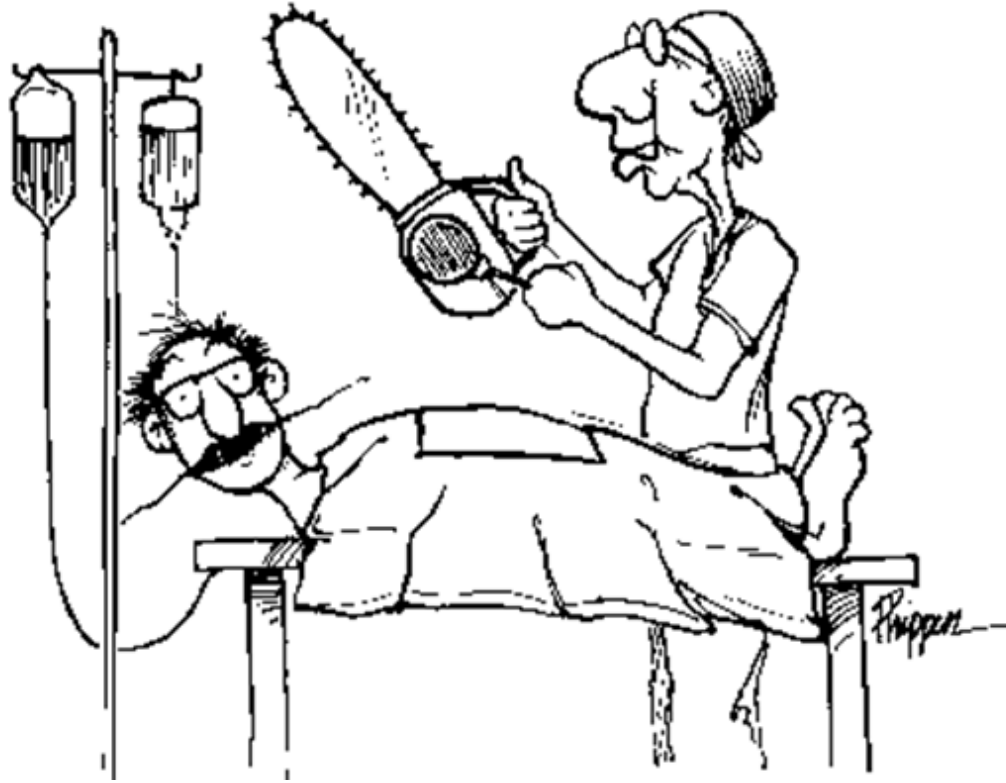
Safety

莊子肇 副教授
中山電機系

生物效應與安全性

- 醫學影像是為了幫助醫師診斷，但是...
- 做醫學影像會不會有害？
- 沒事還是別亂照？
- 對我：有辦法的話還是早點改行？

有這麼危險嗎？



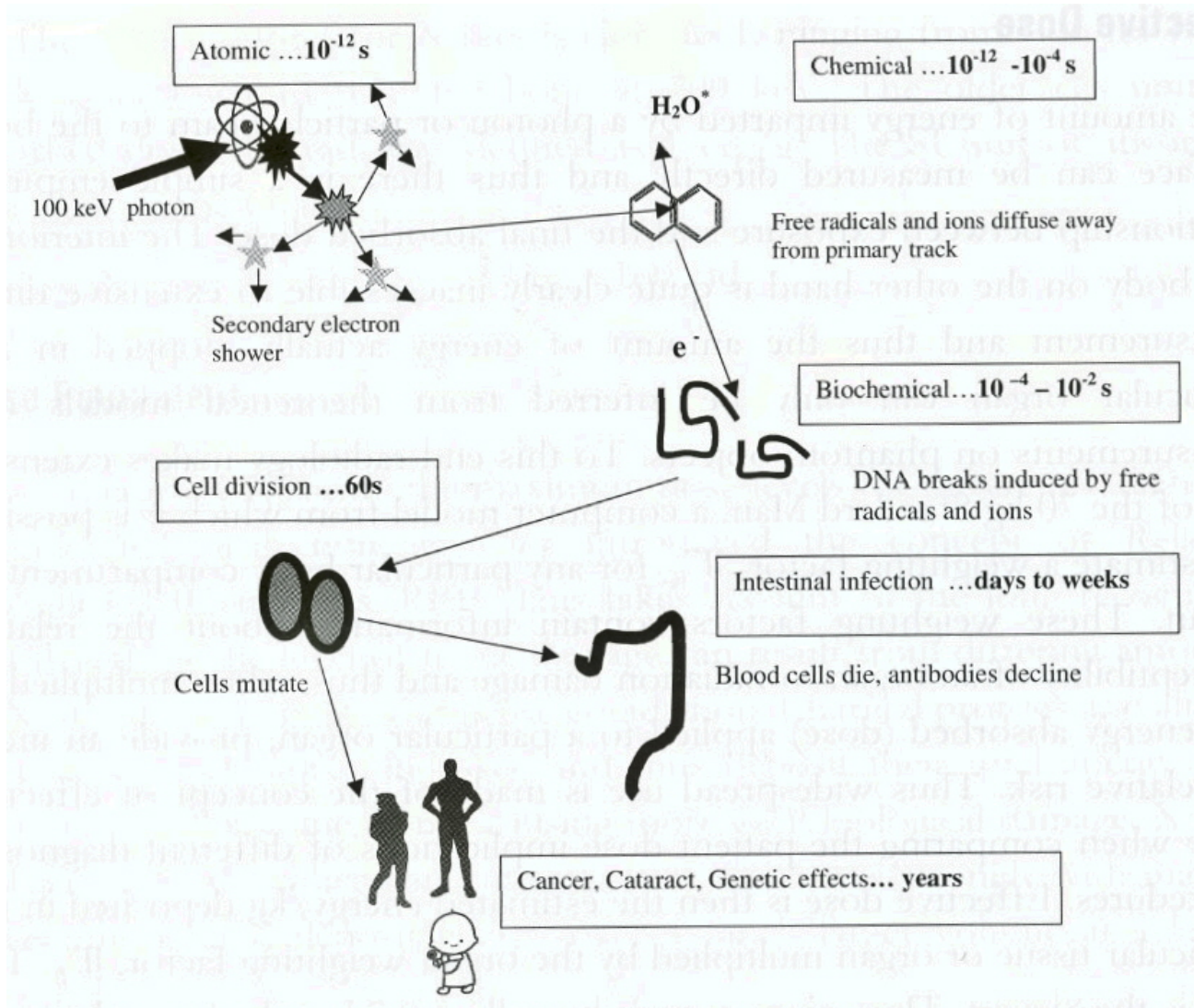
來！我們來看看你的身體是不是正常...看一下就好！

Radiation protection

Bioeffects of radiation

- 高劑量：噁心、嘔吐、全身不適、甚至死亡。
 - 數秒到數天內發生(deterministic effect)
- 低劑量：破壞細胞新陳代謝、遺傳物質改變、縮短生命。
 - 接受輻射數十年後，都還可能影響(stochastic risk)

Scale vs. Time



如何量化輻射劑量？

- 輻射曝露：Exposure
- 產生的輻射對單位重量的空氣所游離的電荷
 - 代表輻射源的強度
 - 單位：Roentgen (R), Coulomb/kg
 - $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg of air}$
- 與距離平方成反比

吸收劑量 (Absorbed dose)

- 單位重量的物質所吸收的輻射劑量
 - 相當於 輻射曝露量 × 游離單位電荷所需的能量
- 單位：gray (Gy, SI unit), rad (cgs unit)
 - $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$
- 輻射曝露與吸收劑量成正比
 - $\text{Dose (rad)} = f \times \text{Exposure (R)}$
 - f -factor (no unit): $f_{\text{tissue}} \sim 1, f_{\text{air}} = 0.87$

等價劑量 (Equivalent dose)

- 不同種類的輻射可能帶來不同程度的生物效應
- 評估生物輻射效應：等價輻射 (H)
 - H (Sv, sievert) = Dose (Gy) \times w_R
 - w_R : radiation weighting factor
 - $w_R = 1$ for X-rays, γ -rays, electrons;
 - $w_R = 2$ for protons; $w_R = 20$ for α -particles

有效劑量 (Effective dose)

- 將局部的吸收劑量等效為全身所接受的劑量
 - $D_{\text{effective}} = \sum H_T \times w_T$
 - w_T : tissue/organ weighting factor ($0 < w_T < 1$)
- 整體評估輻射所帶來的累積性風險

各種組織的加權常數

人體組織/器官	組織加權因子
紅骨髓、肺、胃、結腸、乳腺	0.12
性腺	0.08
肝臟、食道、甲狀腺、膀胱	0.04
腦、唾腺、皮膚、骨頭表面	0.01

*Provided by the 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP)

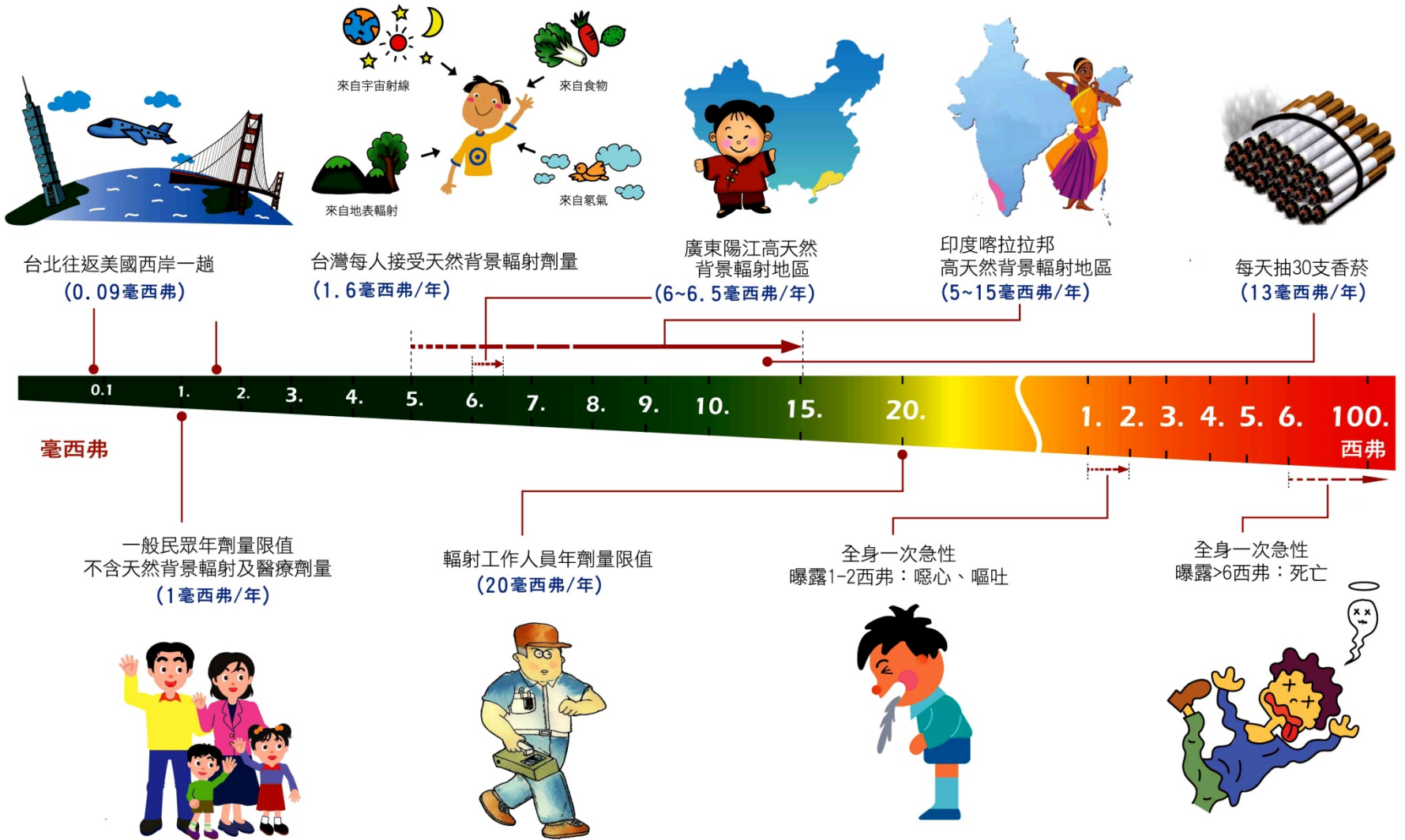
還沒被輻射，頭就暈了～

- 放射治療 → gray (Gy)
- 輻射劑量 → sivert (Sv)
- 核醫藥物製成 → becqueral (Bq)

生物輻射劑量

- 1 R 的輻射源對人體組織約產生 0.01 Sv 或 10 mSv 的劑量
- 生活環境中就算不做醫學影像也有輻射劑量累積（背景輻射）
- 每年每人平均劑量：1.5 ~ 3 mSv

一般游離輻射劑量



註：1 西弗 = 1000毫西弗

法定輻射工作人員劑量限度

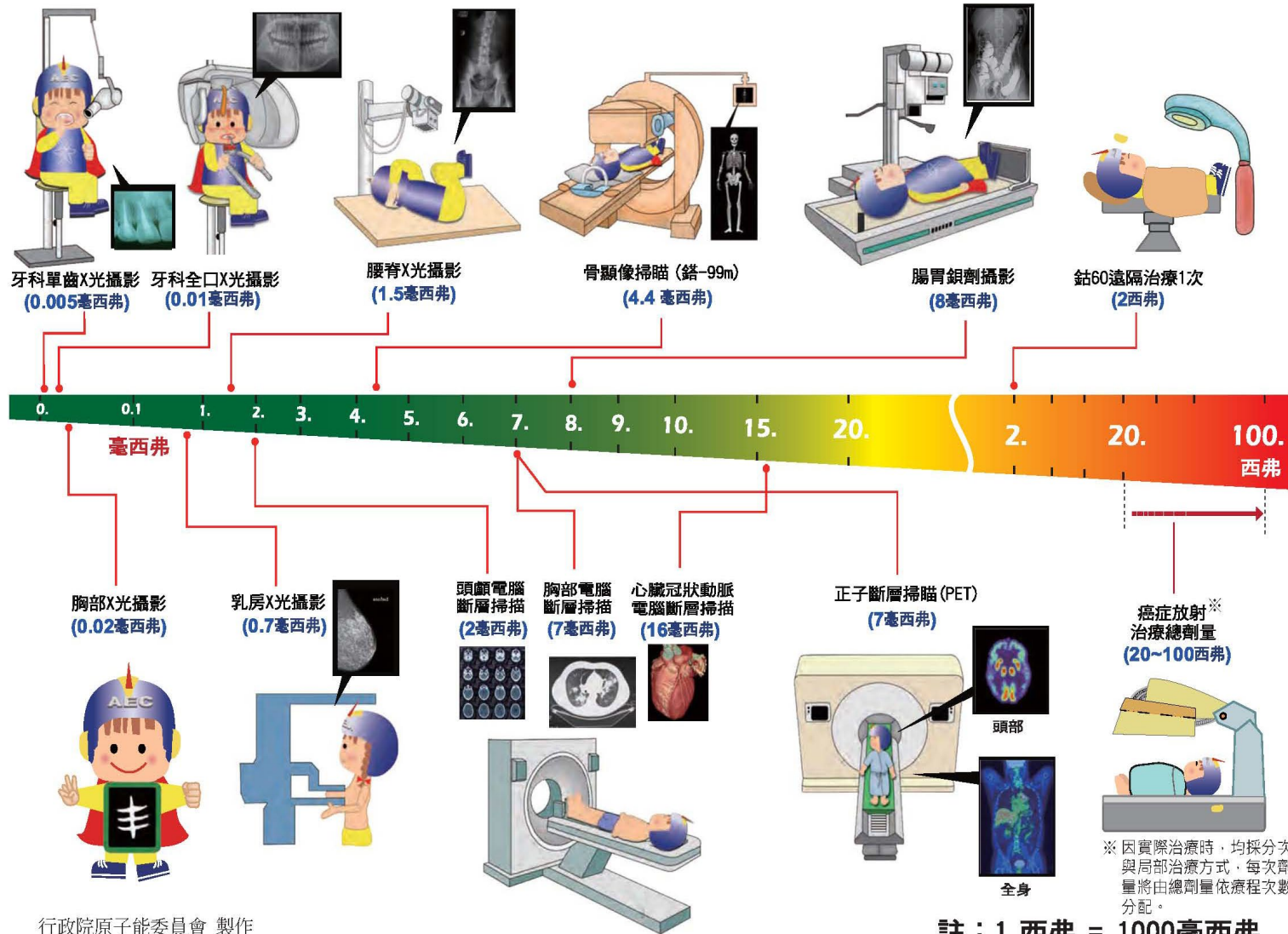
目前原子能委員會規定：

受照射之身體器官	mSv/年
全身之有效劑量 (註：連續五年週期之有效劑量 < 100 mSv)	50
眼球水晶體之等價劑量	150
皮膚或四肢之等價劑量	500

Typical effective dose (mSv)

Investigation	Effective Dose	Wr	No of Chest X-rays	Period of Natural Exposure
Radiography				
Dental	0.01	0.01	0.5	1.5 days
Chest	0.02	0.12	1	3 days
Skull	0.1	0.05	5	2 weeks
Dorsal Spine	1.0	0.01	50	6 months
Lumbar Spine	2.4	0.01	120	14 months
Barium Studies				
Oesophagus	2.0	0.05	100	12 months
Large Bowel	9.0	0.12	450	4.5 years
CT				
Chest	8.0	0.12	400	4 years
Brain	2.0	0.01	100	12 months
Thoracic Spine	6.0	0.01	300	3 years
Lumbar Spine	3.5	0.01	175	1.8 years
Nuclear Medicine				
^{99m}Tc Studies				
Bone imaging	3.6	0.12	180	1.8 years
Cerebral perfusion	4.5		225	2.3 years
Myocardial perfusion	5.0		250	2.5 years
Gastric emptying	0.3	0.12	15	2 months
Thyroid imaging	1.0	0.05	50	6 months

醫療輻射劑量圖



※因實際治療時，均採分次與局部治療方式，每次劑量將由總劑量依療程次數分配。

輻射防護

- 雖然說成像所需劑量不高，但能免則免
- 非用不可：ALARA 原則
 - As Low As Reasonably Achievable

US bioeffects and safety

超音波

- 成像原理：利用高頻聲波進入組織所產生的回波成像
- 完全無輻射性
- 所以沒有危險性？

波動 → 能量

- Acoustic power：超音波探頭所發射的能量
 - Peak and average
 - Temporal and spatial distribution
- 要如何規範？

超音波生物效應：Heating

- 超音波穿透組織時能量被吸收轉換成熱能
 - 超音波衰減的主因
- 超過 41°C 就有致命性危險，一般建議不可增溫超過 1.5°C
- 加熱時間越長，危險性越高

超音波生物效應：Heating

- 與 I_{SPTA} (spatial peak-temporal average intensity) 高度相關
 - FDA regulation : 720 mW/cm^2
 - 但不是唯一的指標
- Thermal index (TI) : 超音波能量與每升溫 1°C 所需要的能量的比例
 - 不同組織皆有不同

超音波生物效應：Cavitation

- Cavitation：短時間內正負壓力快速轉換可能在組織內產生氣泡並消滅
 - 造成細胞破壞
 - 正負壓變化越大，破壞效應越強

超音波生物效應：Cavitation

- 與 I_{SPPA} (spatial peak-pulse average intensity) 高度相關
 - FDA regulation : 190 mW/cm^2
- Mechanical index ($MI < 1.9$)

$$MI = \frac{PNP}{\sqrt{f_c}}$$

- PNP : Peak negative pressure
- f_c : central frequency

結論

- 以目前來說，醫用超音波的危險性極低。
- 但還是需要注意安全！
 - 尤其是胎兒攝影

MRI bioeffects and safety

先來回憶一下：MRI的儀器設備

- 使人體變成磁鐵：強磁場 (M)
- 激發與接收信號：射頻線圈 (R)
- 把信號編碼：梯度線圈 (I)

先來回憶一下：MRI的儀器設備

- 使人體變成磁鐵：強磁場
- 激發與接收信號：射頻線圈
- 把信號編碼：梯度線圈

- 這些設備對人體有無傷害？

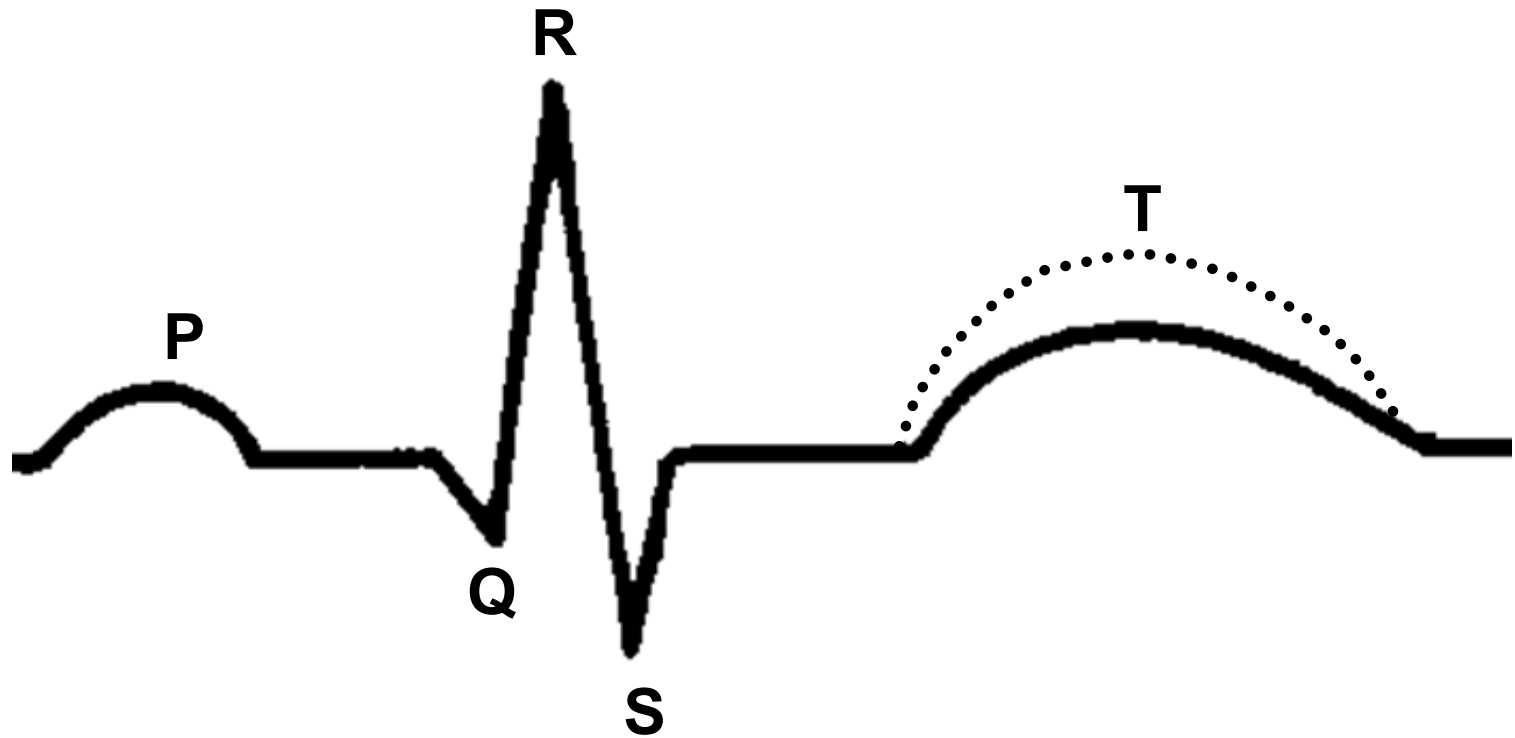
MRI的生物效應

- 極低，或沒有
- 即使有，大多可以立即復原
- 寧可信其有？
- 馬上來看看...

M of MRI：強力（超導）磁鐵

- 病人照完 MRI 就具有磁性？
- 細胞不正常分裂？
- 水晶磁場有助於改善周邊環境？
- 心電圖 T wave 增強？

心電圖 T wave 增強

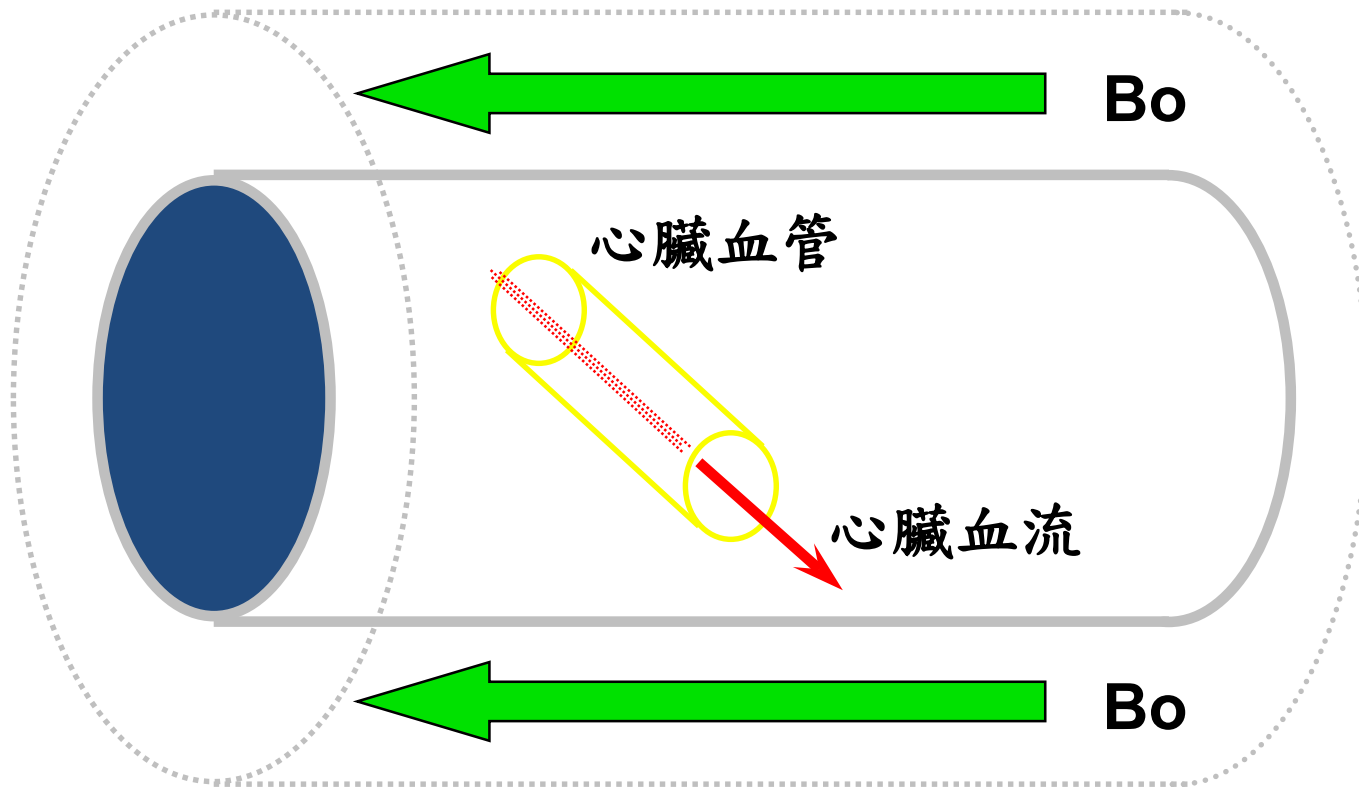


已知的 MRI 強磁場效應之一

心電圖 T wave 增強效應

- Magnetohydrodynamic 效應
- 血液是導體
- 導體在磁場中運動，產生感應電場
- 反應到體表，被心電圖 (ECG, electrocardiogram) 測得

Magneto hydrodynamic 效應



導體 (血液) 在磁場中運動 產生感應電場

ECG T wave 增強的危險？

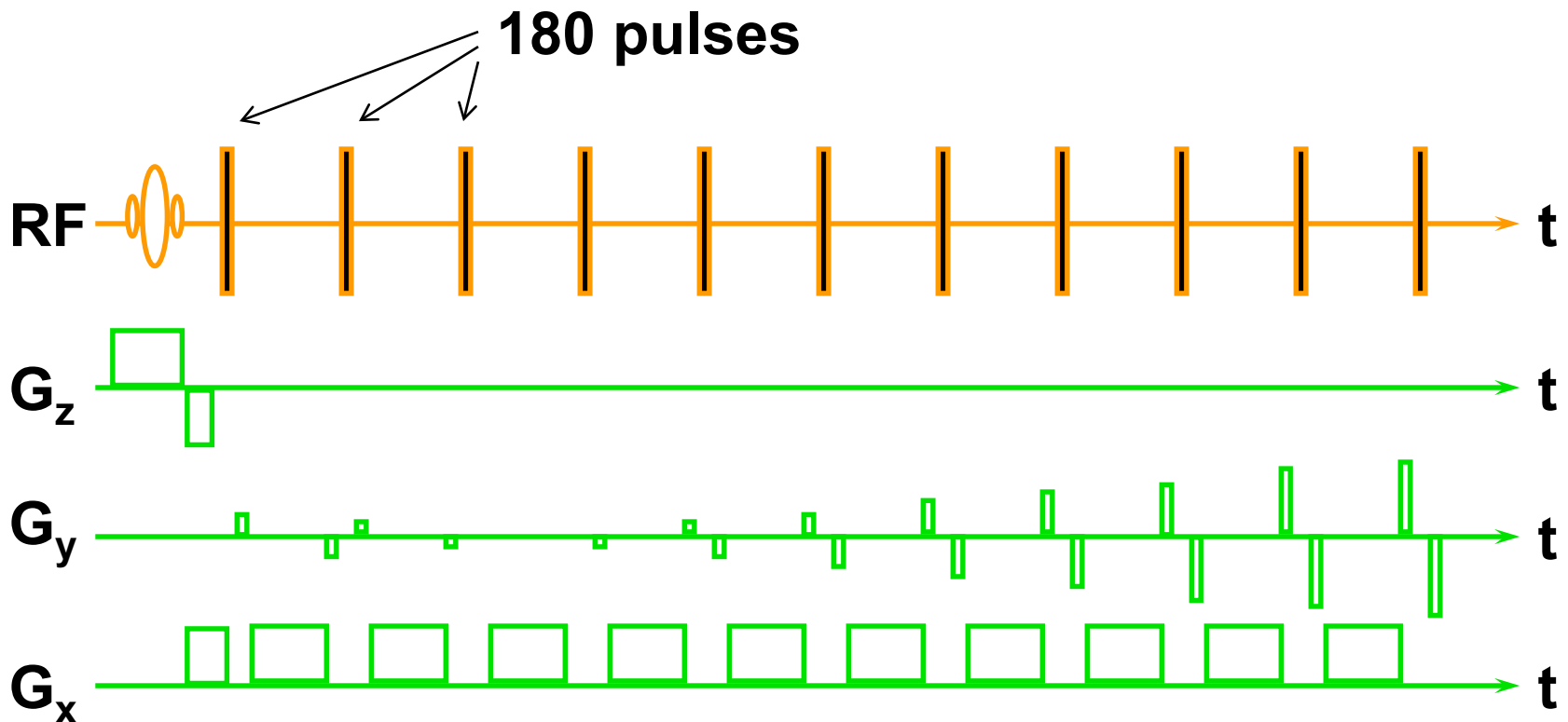
- 對病人應無害
- Gating 的錯誤 (當成 R wave 了)
- T wave 增強也可能代表心肌梗塞
- 在 MRI 掃描前後檢查 ECG 對照



R of MRI : RF coils

- 射頻激發 (RF) 類似微波爐？
- 射頻類似收音機無線電波
- 生物效應：RF 過多，局部體溫會略為提高

快速成像技術：fast-spin echo



短時間內打許多180度脈衝，以加速成像

射頻激發 (RF) 的生物效應

- 擔心？不必！ FDA SAR limits:
 - 頭部平均 3.2 W/Kg 以下
 - 全身平均 2.0 W/Kg 以下
 - 局部最高 10.0 W/Kg 以下

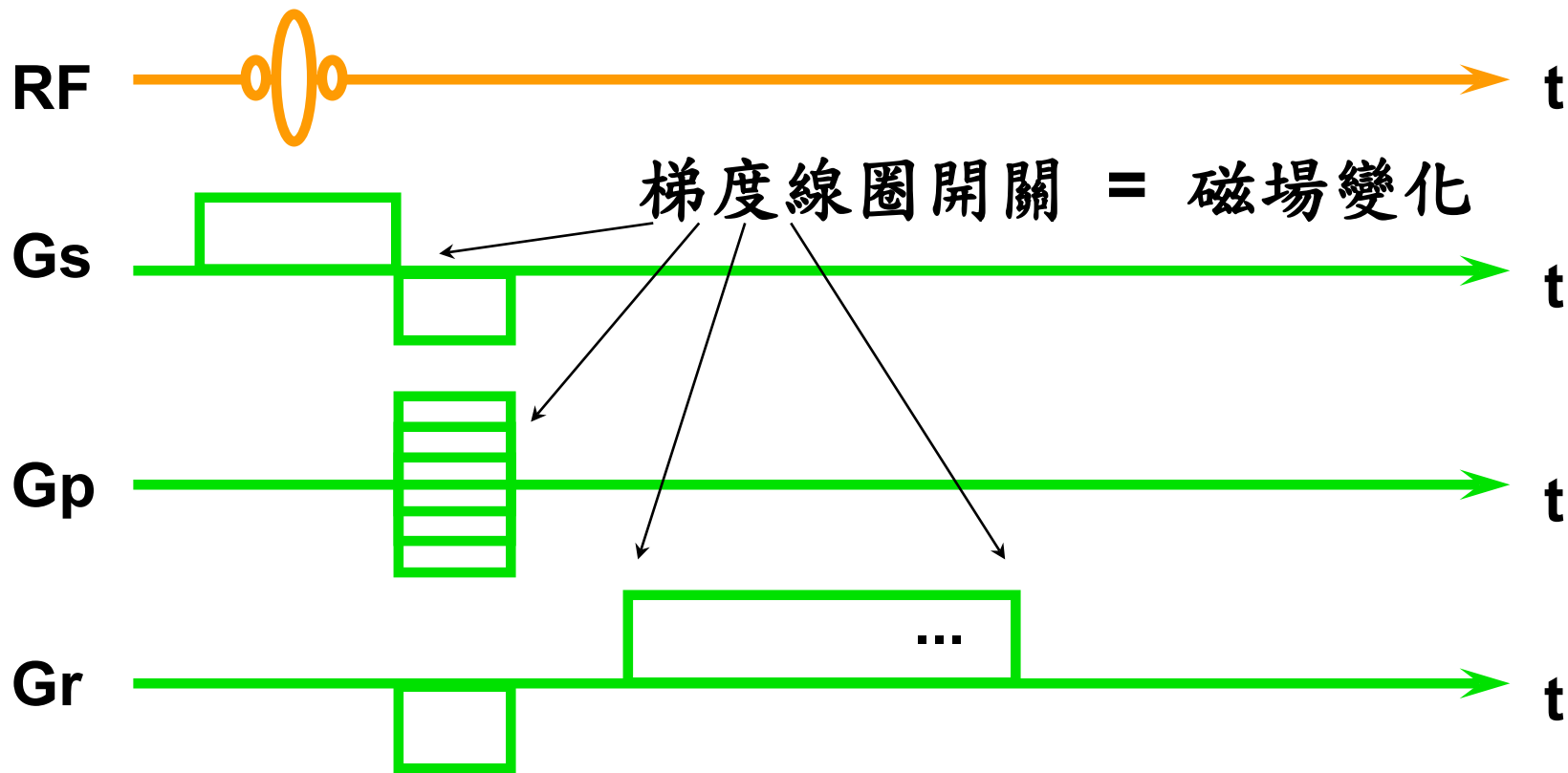
射頻激發 (RF) 的熱效應

- 人體內部自有體溫調節系統
- 溫度上升，立刻由血流帶走熱量

I of MRI : gradient coils

- 快速磁場變化，人體又是導體 ...
 - 磁生電？
- 病人會觸電？
- 神經電生理受到擾亂？

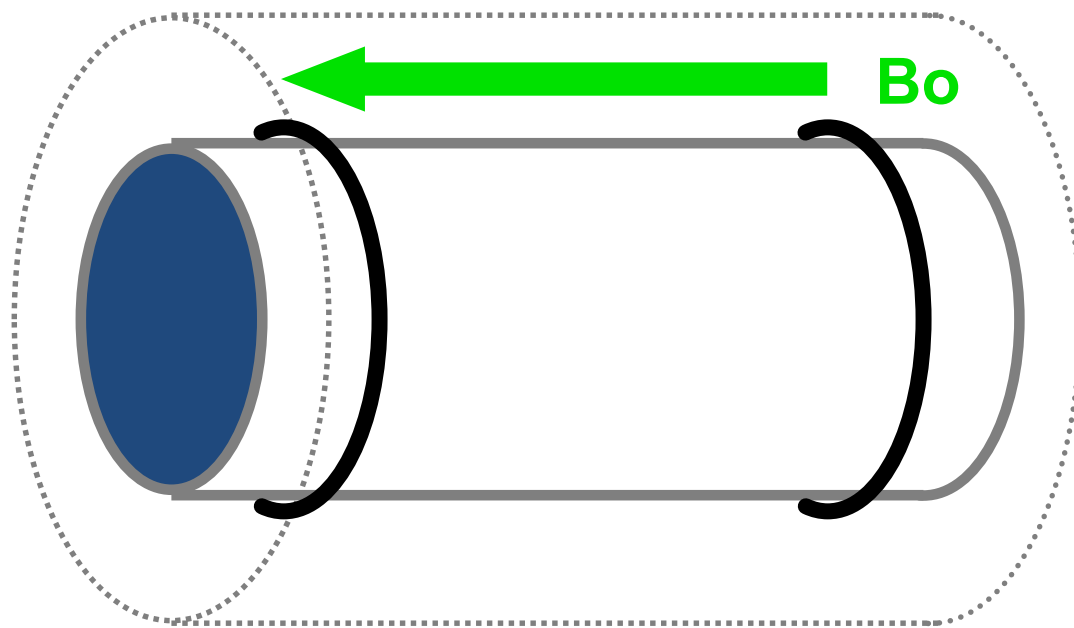
Gradient echo



磁磷眩光

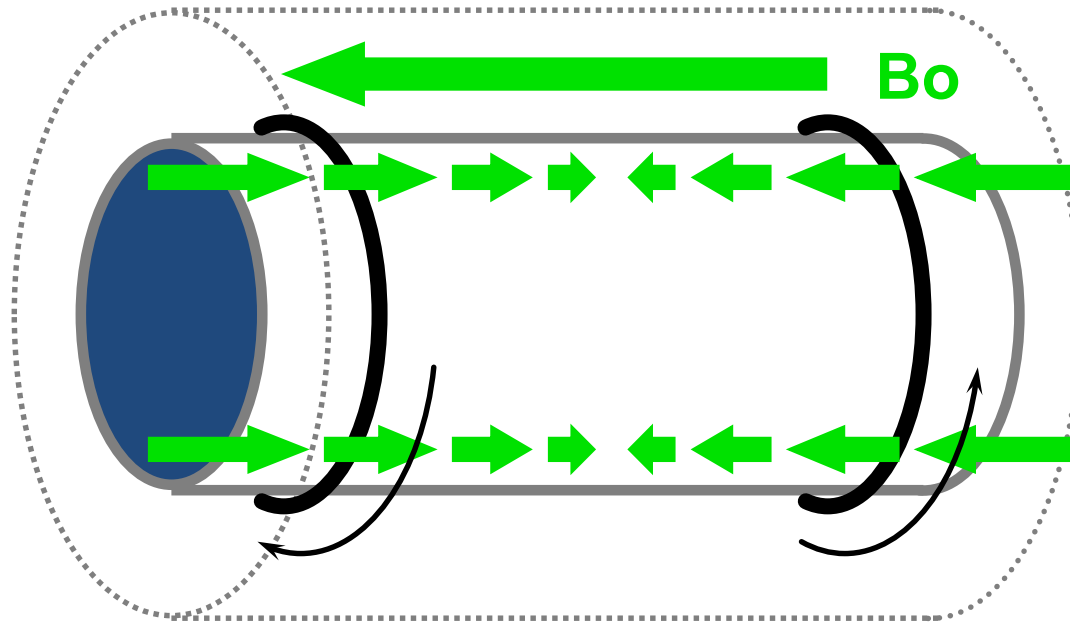
- Magnetophosphene
- 快速磁場變化，磁生電
- 視神經受到刺激，好像看到閃光
- 視神經並未受到破壞
- 距離 MRI 中心愈近，效應愈小

例如：Z梯度線圈關閉時



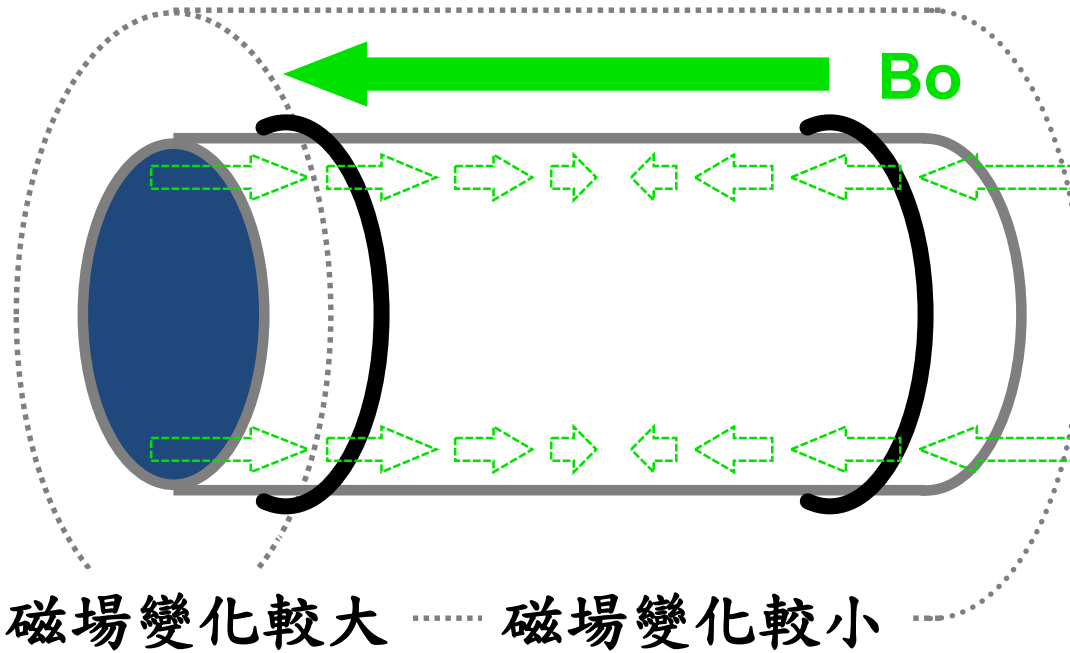
Maxwell Pair

Z梯度線圈開啟



各處磁場快速產生變化

Z梯度線圈再度關閉



距離 MRI 中心愈近，效應愈小

體表神經刺激

- Peripheral nerve stimulation (PNS)
 - 視神經：產生眩光
 - 體表神經：癢、麻、痛
- 在磁場梯度變化快速的脈衝序列容易出現（如：echo planar imaging）
- 一旦停止掃描，反應立刻消失

MRI 的噪音

- 起因：梯度線圈的磁場變化
- 成像愈快，通常聲音愈大
- 給予病人耳塞

摘要：MRI的生物效應

- 強磁場：T wave 增強
- RF coils：局部體溫上升
- Gradient coils：眩光、體表神經刺激
- 線圈產生劇烈震動：噪音

- 正常操作下，對病人、醫師、放射師均無害

MRI 的安全防護

- 不是說很安全嗎？為什麼還要防護？
 - 安全的是正常操作...
- 不正常的操作可能極度危險！

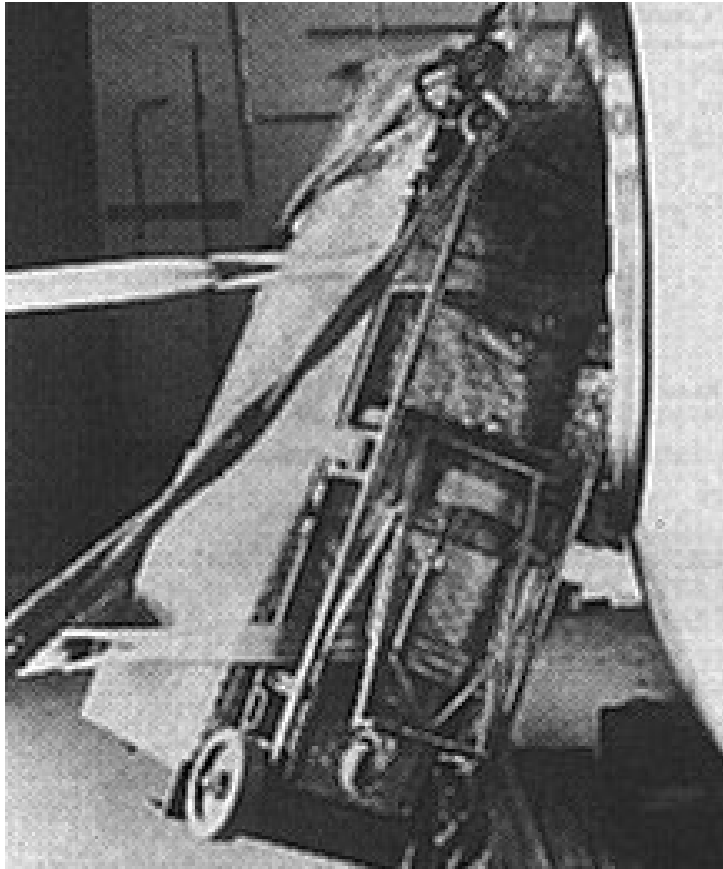
WARNING!!



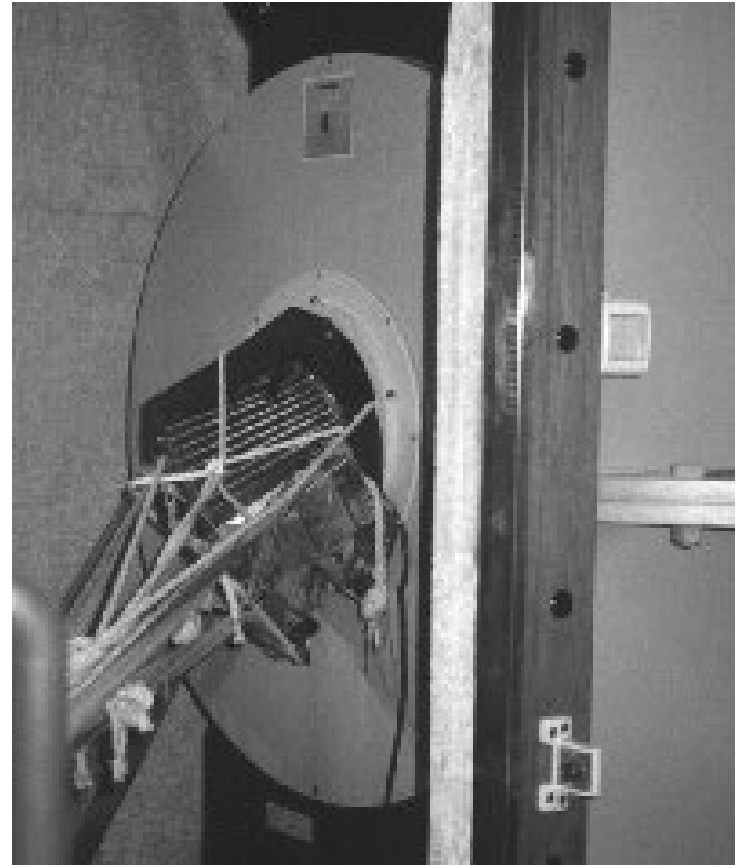
磁力的比較

- 地球磁場：0.5 Gauss
 - 指南針偏轉
- 小學生的吸鐵石：50 Gauss
 - 吸引迴紋針
- MRI主磁場：15,000 Gauss
 - 吸引電視機？

以極大吸力快速吸引家電用品



功率放大器



除濕機

還有...



椅子



打蠟機

還有...



吸塵器



靜脈注射設備

幾年前才發生...



New Delhi, India, 2014

強磁場與鐵磁性物質的危險性

- 愈重的物品，愈可能成為致命武器！
- 其他還有：心律調節器 (pacemaker)
- 強磁場影響下功能可能喪失
- 全世界有一名死亡病例 (1990)

事前防範的重要性

- 儀器附近物品不可隨意放置
- 詢問病人有否裝設人工器官等
- 除去手錶、髮夾等，更換病患衣物
- 閒雜人等切勿進入！

萬一發生緊急事故

- 身體不適：立刻讓病人離開 MRI
 - 例：幽閉恐懼症 (Claustrophobia)
- 病人生命遭受威脅：緊急 quench
- Quench: 將超導磁性關除
 - 耗費大量人力財力、磁鐵可能損壞

Quench

- 液態氦、液態氮大量揮發
- 若無排除，室內氧氣將急劇減少
- 磁性消失，須重行充灌
- 時間～二週，金錢～數百萬元
- 如無生命威脅或深仇大恨，切勿輕易使用！

ALARA

醫學影像系統：醫學影像安全