

# MEDICINA NUCLEARE

Nesse perché le tecniche radiologiche sono tecniche morfologiche (forme e dimensioni)  
non vanno bene per valutare il funzionamento

es. 10% del noduli della tiroide sono maligni: bisogna vedere se c'è troppa o poco radioattività funzionale della medicina nucleare

Per la tiroide per vedere si somministra iodio alla tiroide  $\rightarrow$  radioattività:  
lo stesso o vederlo perché emette radiazioni all'esterno

È un imaging per emissione  $\rightarrow$  la sorgente è emissione ed ha un'idea del funzionamento  
La sorgente è interna al corpo: iniettata, ingerita, iniettata.

Avere un radiofarmaco che si vada a posizionare in una determinata zona  $\rightarrow$  scegliere quello che va a marcare proprio cosa vogliamo vedere (es. iodio - tiroide)

Si può marcare anche un processo fisiologico: glucosio radioattivo per esempio (vedere come viene assorbito ossigeno radioattivo per il metabolismo aerobico: cuore, fegato)  
 $\Rightarrow$  tutti gli elementi della tiroide ed organi

Applicata soprattutto in diagnostica ~~dei~~ tumorale e funzionamento cerebrale.

Si vede di frequenza  $\rightarrow$  emissioni in banda  $\delta$ : 100-300 keV  $E=hf$   
Non si sa la posizione della sorgente: non sappiamo di preciso dove viene e localizza.

$\rightarrow$  collimatore e via di un sistema di collimazione  
Dato che si parte da radiofarmaco, il tempo di esposizione è legato al decadimento  $\Rightarrow$  molto variabilità di radiazioni (alcuni minuti  $\rightarrow$  ore)  
radiologia  $\rightarrow$  fascio di raggi  $\times$  formato da molti quanti

med. nucleare  $\rightarrow$  ogni atomo emette un fotone  $\Rightarrow$  pochi fotoni  $\times$ : bisogna fare una conta fotografica (+ computer, + soggetto ad esame, immagine + dati)

- $^{131}\text{I}$   $\rightarrow$  tiroide
- $^{67}\text{Ga}$   $\rightarrow$  tumori
- $^{99}\text{Tc}$   $\rightarrow$  tumori

L'immagine che vedo è un dettaglio funzionale dell'organo

Bassissima efficienza di rivelazione (capacità di rivelare un fotone  $\times$ )

- scattato del numero di fotoni
- il collimatore attende/assorbe i fotoni che arrivano da direzioni che non vanno bene  $\rightarrow$  abbassa la qualità dell'immagine stessa ma è migliorabile

Problema di tossicità: il paziente rimane radioattivo per un certo tempo  $\rightarrow$  tempo di emivita del radiofarmaco.

Disposizione dell'info: la sorgente non è fortemente localizzabile (è intutto il corpo)  
Per i fotoni  $\times$ , i sensori al cruscotto dell'energia hanno un'efficienza + bassa, perché  $\mu$  è minore

Ogni elemento può essere reso radioattivo sottraendo le proporzioni protoni + neutroni nel nucleo  $\rightarrow$  emette un'onda elettromagnetica perché è instabile  $\rightarrow$  emette l'energia in eccesso  $\rightarrow$  forma stabile: è decaduto (o disintegrato)

Bequerel  $\times$  disintegrazione nucleare al secondo ( $\text{Bq}$ )  
Curie  $\cdot 3.7 \cdot 10^{10}$  Bq ( $\text{Ci}$ )

Statistica di emissione: gli atomi non decadono tutti insieme

$\rightarrow$  statistica di tipo Poissoniano  $\rightarrow$  costante di decadimento del radioattivo ( $\text{s}^{-1}$ )

il numero di atomi radioattivi dopo  $t$  è  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$

il tempo di emivita (dimezzamento):  $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$  dopo questo tempo il metà degli atomi radioattivi è decaduto

- $^{11}\text{C}$   $\rightarrow$  alcuni minuti
- $^{14}\text{C}$   $\rightarrow$  migliaia di anni
- $^3\text{H}$   $\rightarrow$  circa  $10^{10}$  anni
- $^{238}\text{Ra}$   $\rightarrow$  più di  $10^{10}$  anni

Mecanismi di radiobemissione differenti  $\rightarrow$  alcuni  $\alpha$ , alcuni  $\beta$

DECADIMENTO  $\alpha$ :

particella  $\alpha = 2$  protoni e  $2$  neutroni  $\rightarrow$  dimiuisce di  $4$  il peso atomico e di  $2$  il numero atomico (cambia l'elemento)  
le particelle  $\alpha$  hanno una massa molto elevata  $\rightarrow$  vengono assorbite ad alcune cm nel corpo  $\rightarrow$  non servono in diagnostica

→ min è usato in diagnostica, ma in terapia il Co motorio assorbito è elevatissimo espellere energia e nuocere)  
è 67% dell'espansione di una bomba nucleare è particella  $\alpha$

### DECADIMENTO $\beta^-$

(non ha carica)

un neutrone si trasforma in protone + elettrone + antineutrino.  
è un processo aumento di  $A$ , Le particelle  $\beta^-$  (elettroni) hanno bassa energia e non sono adatte in diagnostica, ma è usato per creare elementi sintetica (per esempio la ternezza  $^{99m}Tc_{43}$  non esiste in natura ed è molto usato in medicina nucleare)

### DECADIMENTO $\beta^+$

→ elettrone con carica positiva

un protone si trasforma in neutrone + positrone + neutrino.  
il n° atomico diminuisce di 1. Questo decadimento avviene se la differenza di energia è maggiore di 1022 keV.  
il positrone  $\beta^+$  si annichisce con un elettrone in pochissimo tempo (meno di  $\Delta$  anni di spazio) il l'energia totale è diviso in due 2 fotoni da 511 keV  
questo metodo è usato nella PET  
L'annichimento da origine a due fotoni gemelli con lo stesso di direzione di propagazione ma verso opposto.

### CATTURA DI UN ELETTRONE ORBITALE

si aggiunge al nucleo un elettrone dall'orbitale più esterno  
un protone si trasforma in neutrone + neutrino il n° atomico diminuisce di 1  
per  $^{99m}Tc_{43}$  permette un fotone singolo  
questo metodo è usato nella SPECT

21-12-2010

- Radiazioni  $\gamma$
- la sorgente è un radiofarmaco che va iniettato
- Diversi meccanismi di emissione  $\gamma$

INDICATORE  $\gamma$  si legano a tessuti e organi

TRACCIANTE  $\gamma$  seguono un processo metabolico

Energie  $\rightarrow$  radiazione gamma (80-300 keV)  $\Rightarrow$  SPECT (cattura di un elettrone orbitale)  
 $\rightarrow$  due fotoni gamma a 511 keV  $\Rightarrow$  PET (decadimento  $\beta^+$ )

Sezioni del rivelatore molto buoni (pochi fotoni, il denso e l'aumentare della banda)

$\rightarrow$  dimensioni considerevoli (0.5m x 0.5m)

- rivelatori a semiconduttore (Ge, SiO<sub>2</sub>): resistenze che cambiano valore  
 $\rightarrow$  costo elevato, piccole dimensioni e rumore termico elevato. NO
- rivelatori a gas: come in TC, ma hanno un'efficienza ancora troppo bassa (inferiore al 50%)
- scintillatore inorganici: si usano per  $\beta$  maggior parte questi, sono da scintillatore  
 $\rightarrow$  NaI (ioduro di sodio): efficienza di rivelazione del 13%,  $\rightarrow$  si modifica il materiale cristallino inorganico, TE  $\rightarrow$  l'efficienza totale è del 60%  
una rivelazione energetica: capacità di distinguere fotoni che hanno energie differenti del 10-15%, è fortemente probabile costo per genere 20-30 fotoni rivelabili ogni keV di energia  $\beta$ .  
riferire a conversione indiretta

### LA GAMMACAMERA

LA GAMMACAMERA (o CAMERA DI ANGER): fotometro in banda  $\gamma$

le radiazioni  $\gamma$  si posizionano in un particolare tessuto del corpo umano  $\rightarrow$  emette casualmente nello spazio  $\Rightarrow$  ci sono molte radiazioni inverte: si raccolgono solo i fotoni che vengono emessi in una particolare direzione  
Il fotone  $\gamma$  della gammacamera c'è il collimatore  $\rightarrow$  a fessure parallele tutti sono paralleli di un certo spessore all'interno del quale  $\beta$  radiazioni più possiede (possono solo  $\beta$  radiazioni parallele a fessure altre vengono assorbite)  
il cristallo converte da banda gamma a banda visibile a una guida ottica  $\beta$  parte o dei tubi fotomoltiplicatori  $\rightarrow$  si crea una catena che generalmente si legge in corrente  
Sopra c'è l'elettronica di posizionamento che serve per leggere l'uscita dei fotomoltiplicatori e fornire in uscita la posizione d'impatto dei fotoni  $\gamma$  sulla gammacamera.

È un sistema esterno della gamma camera e di piante  $\rightarrow$  per vedere le cristallo del resto della radiazione è impedito alla radiazione interna di uscire  
 il piano è piano tondo, ma costa poco e schermo molto bene  
 tra il cristallo e lo scudo attivo c'è uno spessore di vetro trasparente nel visibile e in banda  $\rightarrow$   
 il cristallo è incorporato in due pannelli di vetro: il sole se entra in contatto con il vetro scivola su un cuneo e si divide (si scioglie)  $\rightarrow$  lo spazio del cristallo deve essere completamente sigillato  
 la gamma camera normalmente ha dimensioni  $40 \times 40$  cm  $50 \times 50$  cm

## COLLIMATORE

- (A) a foci paralleli  $\rightarrow$  = semplice (+ usata)
- a geometria divergente  $\rightarrow$  oggetto grande da riproducere
- a geometria convergente  $\rightarrow$  oggetto piccolo da ingrandire
- dispositivo pinhole  $\rightarrow$  modello selettivo di un solo fotocrystallo (es. tracciato)

Servono ad aumentare il campo che siamo riproducendo  $\rightarrow$  senza il collimatore non si può fare  
 è progettato per la gamma camera (nella PET c'è un altro tipo di collimazione)  
 il "pinhole" è che il collimatore oltre una parte dei fotoni  $\rightarrow$  son già fatti  
 esistono collimatori con setti di piombo e cobalto  
 un punto si vede come una comparsa  $\rightarrow$  la larghezza della comparsa coincide con la risoluzione spaziale. Se si allontana il sorgente dalla gamma camera, aumentando i setti in cui passano i fotoni il campo si allarga o si allarga  $\rightarrow$  diminuisce la risoluzione spaziale  
 $\Rightarrow$  la risoluzione spaziale dipende dalla distanza della sorgente

## TUBI FOTOMOLTIPLICATORI

fotoni arrivano sul fotocattodo che è assorbito e genera correnti elettriche  
 $\rightarrow$  elettroni generati da delle particelle (elettroni) a potenziale crescente (100V) che li accelera momentaneamente 10-20 kV tra l'altro  $\rightarrow$  1 kV tra ingresso e uscita cede  
 poiché aumenta la velocità, aumenta l'energia  $\rightarrow$  il dinamo produce più elettroni di quanti ne aveva  
 $\rightarrow$  fotomoltiplicazione di circa  $10^6$  e particelle di energia  
 il tubo è un ampolla di vetro in cui è fatto il vetro spinto (x evitare perdite con materiale di gas di dimensione è quello del tubo di vetro vuoto  $\rightarrow$  ce ne stanno qualche decina nel caso della gamma camera (da 30 a 50)  $\rightarrow$  messi con geometria esagonale (a tipo d'ape)

Esse in un sistema di posizionamento dei tubi fotomoltiplicatori

## ELETTRONICA DI POSIZIONAMENTO

Per vedere "dove" tubo arriva il fotone mette un comparatore di soglia o zero o del convertitore A/D e un microprocessore  $\rightarrow$  quando so in quale tubo è arrivato il fotone posso dare la coordinata del tubo  $\Rightarrow$  risoluzione bassissima  
 $\rightarrow$  bisogno di molti (e n° di tubi fotomoltiplicatori (impossibile))  
 $\rightarrow$  elettronica di posizionamento: divide in 4 il tubo di ogni tubo fotomoltiplicatore e solo ad un elemento di peso (resistenza di valore)  
 sistema di coordinate X, Y, Z  $\rightarrow$  n° componenti di peso sono 4 per ogni tubo: dove sono 4 coordinate  
 Si pesa così a risolvere le coordinate  $\rightarrow$  4 variabili equazioni solo scisse  
 $\rightarrow$  con questo metodo di peso messo a due la posizione di qualunque punto d'impatto per tutto il piano  $\rightarrow$  a volte un elettronica di posizionamento  
 il coefficiente di moltiplicazione dei tubi deve essere uguale per tutti  
 l'output di intersezione tutti i fotoni che vengono generati, che nessuno va perso

se il quello Z è troppo alto sono arrivati più fotoni contemporaneamente

$\rightarrow$  l'elettronica di posizionamento ristabilisce solo due coordinate. È meglio passare tra due punti d'impatto  $\Rightarrow$  errore. non bisogna usare questa informazione  
 tale è utile in cui lo scudo del quello Z è superiore del 50% l'altro.  
 se il quello Z è troppo basso ignora l'informazione, perché il fotone X è poco energetico  $\rightarrow$  il fotone è stato deflesso dalla materia (effetto Compton: irradiazione secondaria  $\rightarrow$  il mezzo spesso scivola e fotone e ne emette un altro  $\rightarrow$  la direzione è cambiata, e si perde energia)  
 i fotoni Compton non si usano

il quello Z è molto comodo se mette due radiofarmaci con energie diverse  $\rightarrow$  fanno due immagini diverse (studi che si fanno tipicamente sui tumori)

il quello Z è fondamentale perché consente la discriminazione energetica  $\rightarrow$  3° usata della gamma camera

X, Y, Z vengono convertite da A/D e mandate in uscita ad un PC

La gamma camera è alimentata, ma è un dispositivo passivo, non emette radiazioni.

La gamma camera produce un'immagine bidimensionale  $\rightarrow$  immagine di tipo piano, proiettiva

$\rightarrow$  è nota la medicina nucleare 3D



# TOMOGRAFIA COMPUTERIZZATA AD EMISSIONE (ECT) per costruire un'immagine 3D

↳ PET

↳ SPECT

Si fa nella stessa modo della TC  $\rightarrow$  si può usare lo stesso algoritmo  $\rightarrow$  possono restituirsi immagini.

Queste due tecniche utilizzano radioisotopi diversi e tipi di emissioni diversi

**SPECT**: Tomografia ad emissione di singolo fotone

Tempi di dimezzamento molto lunghi  $\rightarrow$  si rimane radiattivi per molto tempo

TC  $\rightarrow$  si può produrre in laboratorio tramite una camera ciclotronica  $\rightarrow$  è l'unico che si produce in loco

Se c'è una lunga consegna da un cantiere della casa farmaceutica  $\rightarrow$  bisogna studiare percorsi particolari (vicoli e mezzi) si arriva a prova d'incanto

Si crea l'immagine e poi si ruota la gammacamera per ottenere un'altra e così via  $\rightarrow$  SPECT o una TESTA ROTANTE

↳ in questo modo si crea l'immagine 3D

Compiando intorno si costruisce un volume mettendo insieme le immagini

↳ poi si possono fare tutte le sezioni che si vuole

Normalmente 64 proiezioni con  $5^\circ$   $\rightarrow$  si fa l'intero giro di  $360^\circ$   $\rightarrow$  per migliorare la qualità dell'immagine, dato che la risoluzione è molto alta con la distanza (e o quella di dose non cambia nulla)

immagini di qualità molto piccole e buone ( $128 \times 128$ )

pixel di 3.2 mm  $\rightarrow$  risoluzione spaziale molto bassa

↳ l'elemento di volume è un cubo di 3.2 di lato

La risoluzione dipende da:

- qualità campionamento lineare, dato dalla lunghezza dei sottili del collimatore
- campionamento angolare: di quanto giro  $\rightarrow$  risoluzione in volume

Dato che è come un'auto è ellittica e si vuole vedere la gammacamera (e + volume possibile  $\rightarrow$  binocolo e movimento ellittico)

Modalità di acquisizione:

- stop and snap: la gammacamera ferma prende l'immagine e poi ruota e così via (tempo di 1s per immagine)  $\rightarrow$  forse qualche minuto
- ↳ l'adattamento da movimento si vede appena
- continuous rotation method: continuo a muoversi mentre acquisisce, e + volume, ma le immagini sono leggermente peggiori

Si usa per diagnosticare o quella neurologica e MORBO DI PARKINSON

↳ per questo si usa la continua perché il paziente viene fotograficamente

SPECT o più teste rotanti: gammacamera sopra e sotto  $\rightarrow$  solo  $\rightarrow$  solo  $\rightarrow$   $180^\circ$

dovrà essere uguale... (anche a 3 gammacamera  $\rightarrow$  per sezioni di tipo cerebrale)

Se sull'esame si sono delle sigle che indicano il radiofarmaco (es. PET SCAN  $\rightarrow$  parkinson)

11-01-2011

**PET**: tomografia ad emissione di positroni

Se isotopi hanno tutti 511 KeV, tempo di dimezzamento dall'ordine dei minuti

$\rightarrow$  bisogna produrre se il luogo: dispositivo CICLOTTRONE (acceleratore di particelle) per produrre il farmaco, gli atomi vengono bombardati da altri atomi

Il ciclotrone costa molto (3-4 milioni) e occupa tanto spazio  $\rightarrow$  per installare un PET occorre chiedere la permesso della regione piemontese.

Si rimane radiattivi per un tempo minore.

I traccianti PET sono coniugati perché sono gli stessi elementi della chimica organica

↳ interagiscono con i processi fisiologici perché ne fanno parte

O. frontotale cerebrale e del miocardio

Quando viene emesso un positrone (P<sup>+</sup>), incontra un elettrone di materia si annichisce e l'energia viene divisa in 2 fotoni di 511 KeV solo se si trova molto vicini

Se intercetta i due fotoni, può trovare una retta e scoprire il punto dove si sono generati

↳ è lo stesso ruolo del collettore primario

Due camere vedono arrivare due fotoni → linea dell'evento, possono tutte dare il punto di distribuzione del radiofarmaco. L'immagine è formata come allineamento di linee dell'evento. Come faccio a considerare 2 fotoni come gemelli? Rivelatore di coincidenze: misura il tempo in cui ogni fotone arriva sulla camera. Non c'è una coincidenza se i fotoni arrivano in una finestra di 4-6 ns (da 0 a 4 ns oppure da 0 a 6 ns). Il rivelatore ha un comparatore di soglia che confronta un evento a destra con quello a sinistra (evento se sinistro  $\leq$  soglia e quello  $\geq$ )

• la linea dell'evento non quella della distribuzione del radiofarmaco → statisticamente ogni camera si accende in 4 mm → è un'approximazione che va bene

[ma se il materiale radioattivo è in una sfera di 4 mm, i fotoni partono da una sfera di 3 mm]

↳ è una struttura del contornio: non importa vice a interessa, le detegge funzionali non metodologie

• In linea retta, però c'è il caso dell'evento possono anche essere il punto dove si sono generati misurando il tempo (o  $\Delta t$  di arrivo) → non si fa perché il contornio darebbe un errore in risoluzione del processo (non si può fare):  $4 \text{ ns} = 20 \text{ cm} \Rightarrow \Delta ps = 0.3 \text{ mm}$

→ esistono dispositivi di sistema che fanno anche questo calcolo: PET + TC o solo TC (sono 5-6 volte in più e non danno informazioni aggiuntive dal punto di vista clinico)

• alcune volte i fotoni non hanno la direzione giusta, non sono direttamente a  $180^\circ$  → trova la linea dell'evento sbagliata

• FALSE COINCIDENZE

- SCATTER: uno dei due fotoni viene deflesso → anche se perorre + strada, c'è finestra di coincidenza e linea → linea sbagliata

- PENE: se due posizioni generano 2 fotoni in tempi vicini, e arrivano tutti e 4 nella finestra di coincidenza, posso trovare la linea evento tra 2 fotoni non gemelli. non c'è rimedio

↳ posso scoprire questo con l'energia del quello +, perché se è stato deflesso ha perso energia → vengono cancellati

Adesso il sistema PET è fatto a formare un anello di rivelatori (di camere, perché i sensori sono a 20 + gradi)

→ esistono anche sistemi PET + TC combinati

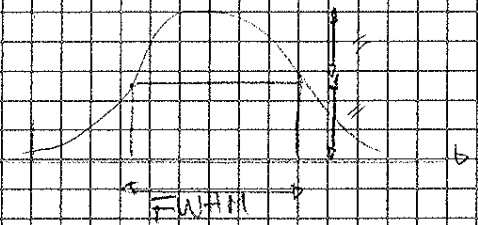
CONFRONTO PET - SPECT

La SPECT costa meno della metà della PET

La PET ha una migliore risoluzione spaziale

La PET ha troppi + bisogna

La SPECT non necessita del accensione → radiofarmaci prodotti industrialmente



Usate per oncologia, tumore → se c'è o no

↳ a quale stadio è

• neurologia: i neuroni si legano alle cose del cervello → diagnosi patologie elettriche e del cervello (neurodegenerative)

↳ se sei impedito si ha una riduzione dell'attività

• cardiologia