

MEDICINA NUCLEARE

Nasce perché le tecniche radiologiche sono tecniche morfologiche (forme e dimensioni).
 Ma non sono bene per valutare il funzionamento.

Es. il 7% dei noduli della tiroide sono maligni. Bisogna vedere se c'è troppa o troppo poca \rightarrow imaging funzionale della medicina nucleare.

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

È un imaging per emissione \rightarrow lo carica e l'emissione ad $h\nu$ un'idea del funzionamento. La sorgente è interna al corpo: iniettata, ingerita, inalata.

Avere un radiofarmaco che si vada a posizionare in una determinata zona \rightarrow scegliere quello che va a marcare proprio con l'oggetto voluto (es. iodio - tiroide).

Si può marcare anche un processo fisiologico: glucosio radioattivo per esempio (vedere come viene assorbito, ossigeno radioattivo per il metabolismo aerobico, fluoro, fosforo).

\Rightarrow tutti gli elementi della tavola periodica (90%)

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

Si sa di frequenza \rightarrow emissioni in banda δ : 100-500 keV $E = hf$

Non si ha la posizione della sorgente, non sappiamo di preciso dove vanno e come vanno.

\rightarrow collimatore è una di un sistema di collimazione. Dato che si parla di radiofarmaci, il tempo di esistenza è legato al decadimento \Rightarrow molto variabilità di radiofarmaci (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 (+ complicata, + soggetta ad errore, immagine + difficili).

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

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

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

- scattino del numero di fotoni
- il collimatore attende i fotoni che arrivano da direzioni che non vanno bene \rightarrow abbassa la qualità dell'immagine ma è indispensabile.

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

Disposizione dell'info: la sorgente non è facilmente localizzabile (è tutto il corpo). Per i fotoni \times , i sensori al cristallo dell'energia hanno un'efficienza + bassa, perché la μ è mirata.

Ogni elemento può essere radioattivo stabilizzando la proporzione 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).

Equilibrio \times disequilibrio nucleare di secondo ordine (Bq) (C)

Statistica di emissione: gli atomi non decadono tutti insieme \rightarrow statistica di tipo Poissoniano \rightarrow costante di decadimento del radioattivo (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 la metà degli atomi radioattivi è decaduto.

- ^{11}C \rightarrow alcuni minuti
- ^{14}C \rightarrow migliaia di anni
- ^3He \rightarrow circa 10^{10} anni
- ^{87}Rb \rightarrow più di 10^{10} anni

Mecanismi di radioemissione differenti. \rightarrow alcuni α , alcuni β

DECADIMENTO α : particella $\alpha = 2$ protoni e 2 neutroni \rightarrow diminuisce di 4 il peso atomico e di 2 il numero atomico (cambia l'elemento).

Le particelle α hanno una massa molto elevata \rightarrow vengono assorbiti ad alcune decina di cm \rightarrow non servono in diagnostica.

→ min è usato in diagnostica, ma in terapia (è molto usato perché è dove si libera energia e muove)
 E 67% dell'esplosione di una bomba nucleare è particelle α

DECADIMENTO β^-

(non ha carica)

un neutrone si trasforma in protone + elettrone + antineutrino.
 E il numero atomico aumenta di 1. Le particelle β^- (elettroni) hanno bassa energia e non escono dal corpo.
 non sono utili in diagnostica, ma è usato per creare elementi sintetica (per esempio il tecnecio ^{99m}Tc non esiste in natura ed è molto usato in medicina nucleare)

DECADIMENTO β^+

→ elettrone con carica positiva

un protone si trasforma in neutrone + positrone + neutrino.
 E il numero atomico diminuisce di 1. Questo decadimento avviene se la differenza di energia è maggiore di 1022 keV.
 E positrone β^+ si annichisce con un elettrone in pochissimo tempo (meno di Angstrom di spazio) e l'energia totale è divisa in due: 2 fotoni da 511 keV.
 questo metodo è usato nella PET.
 L'annichimento dà origine a due fotoni gemelli con la stessa 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 numero atomico diminuisce di 1.
 per ^{99m}Tc somette un fotone singolo.
 questo metodo è usato nella SPECT.

21-12-2010

- Radiazioni γ
- la sorgente è un radiofarmaco che va iniettato
- Diversi meccanismi di emissione γ

INDICATORE \rightarrow si legano a tessuti e organi

TRACCIANTE \rightarrow seguono un processo metabolico

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

Sezioni del rivelatore molto buoni (pochi fotoni, μ densità all'aumentare della banda)
 \rightarrow dimensioni considerevoli (0.5m x 0.5m)

- rivelatori a semiconduttore (Ge, SiO_2) 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%)
- scintillatori inorganici: si usano per la maggior parte questi, sono due scd
 \rightarrow NaI (ioduro di sodio): efficienza di rivelazione del 13% \rightarrow si installano e i cristalli scintillano in presenza di γ . L'efficienza totale è del 60%
 buona risoluzione energetica: capacità di distinguere fotoni che hanno energie differenti del 10-15%. È fortemente variabile costo per
 genere 20-30 fotoni nel visibile ogni keV di energia γ .
 Sensore a conversione indiretta

LA GAMMACAMERA

La GAMMACAMERA (o CAMERA DI ANGEL) : fotocamera in banda γ

Le radiazioni γ si eccitano in un particolare tessuto del corpo umano \rightarrow emette casualmente nello spazio \Rightarrow ci sono molte radiazioni in tutte le direzioni.
 I fotoni che vengono emessi in una particolare direzione.
 Di fronte alla gammacamera c'è il collimatore \rightarrow a fori paralleli tutti sulla paralleli di un certo spessore che intorno del quale la radiazione può passare (possono solo le radiazioni parallele a fori). E allora vengono usate.
 Il cristallo converte la banda gamma a banda visibile a una guida ottica e porta a dei tubi fotomoltiplicatori \rightarrow si crea una carica 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 γ sulla gammacamera.

È armatura esterna della gamma camera e di piombo \rightarrow per schermare e cristallo del resto della radiazione e impedire alla radiazione interna di uscire

Il piombo però tonda, ma costa poco e schema comodo bene

Tra il cristallo e la guida ottica c'è una lamina di vetro trasparente nel vuoto e in banda

\rightarrow il cristallo è incapsolato in due forme di vetro: il solo se entra in contatto con il vapore acqueo si ionizza e si divide (si scioglie) \rightarrow lo spazio del cristallo deve essere completamente vuoto

La gamma camera normalmente ha dimensioni 40×40 cm 50×50 cm

COLIMATORE

• (A) a foci paralleli \rightarrow generale (+ usata)

• a geometria divergente \rightarrow oggetto grande da riempire

• a geometria convergente \rightarrow oggetto piccolo da riempire

• dispositivo pinhole \rightarrow modello semplice di un zona pinhole (es. strada)

Servono ad attenuare il suono che strano raddoppiando \rightarrow senza il collimatore non si può fare e doppiato per il gamma camera (nella PET c'è un altro tipo di collimazione)

È "pinhole" è che il collimatore attenua una parte dei fotoni \rightarrow se gli pinhole

esistono collimatori con setti lunghi e corti

un punto si vede come una lampada \rightarrow la larghezza della camera coincide con la risoluzione spaziale. Se si allontanano le sorgenti della gamma camera, aumentano i setti in cui passano i fotoni

e la camera si allarga o si stringe \rightarrow diminuisce la risoluzione spaziale

\rightarrow la risoluzione spaziale dipende dalla distanza della sorgente

TUBI FOTOMOLTIPLICATORI

Fotoni arrivano sul fotocatodo che li assorbe e genera correnti elettriche

\rightarrow elettroni generati da delle particelle (neutroni) o corrente costante (100uV) che li accelera momentaneamente 10-20 kV \rightarrow 1 kV ha ingresso e uscita delle

particelle aumenta il voltaggio, aumenta l'energia \rightarrow il dinodo mette più elettroni di quanti ne aveva e particelle di energia

\rightarrow Fotomoltiplicazione di circa 10^6

il tubo è un'ampolla di vetro in cui è fatto il vuoto spinto (\times evitare collisioni con molecole di gas)

la dimensione è quella del tubo di vetro (escluso vuoto) \rightarrow ce ne stanno qualche decina nel caso della gamma camera (da 30 a 50) \rightarrow messi con geometria estograde (a raso d'oro)

È un collimatore di posizionamento dei tubi fotomoltiplicatori

ELETTRONICA DI POSIZIONAMENTO

Per vedere "videotubo" serve il fotone mette un comparatore di segnale a zero o del convertitore A/D e un microprocessore \rightarrow quando so in quale tubo è arrivato il fotone posso dare le coordinate del tubo \Rightarrow risoluzione bassissima

\rightarrow bisogna aumentare il n° di tubi fotomoltiplicatori (impossibile)

\rightarrow elettronica di posizionamento: divide in 4 il tubo di ogni tubo fotomoltiplicatore (es. 10) di un elemento di peso (resistenza diverse)

sistema di coordinate X, Y, X', Y' \rightarrow 4 componenti di peso fissa \times 4 pesi positivi: deve essere 4 coordinate

Si prese così a risolvere le coordinate \rightarrow vedi equazioni sulla slide

La con questo metodo di peso fissa a dare la posizione di qualunque punto d'impatto per tutto il piano \rightarrow a volte un elettronica di posizionamento

il sottile di moltiplicazione dei tubi deve essere uguale per tutti

il PESO di intersezione tutti i fotoni che vengono generati, che nascono da peso

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

La elettronica di posizionamento ricostruisce solo due coordinate: la media passiva tra due punti d'impatto \Rightarrow errore! non bisogna usare questa informazione

Tutte le volte in cui la soglia del livello Z è superiore del 50% l'ammontare.

Se il livello Z è troppo basso ignora l'informazione, perché il fotone X è poco unipolar \rightarrow il fotone è stato deflessa dalla magnetica (effetto Compton: irradiazione secondaria \rightarrow il mezzo stesso assorbe il fotone e ne emette un altro) \rightarrow la direzione è cambiata, e si perde energia

1 fotone Compton non si usano

Il livello Z è molto comodo se mette due radiofarmaci con energie diverse \rightarrow fanno due immagini diverse (studi che si fanno tipicamente su animali)

Il livello Z è fondamentale perché consente la discriminazione energetica \rightarrow 3° livello della gamma camera

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

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

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

\rightarrow è solo 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 apparecchio \rightarrow possono essere
stessi anni.

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 radioattivi per molto tempo

Te \rightarrow si può produrre in laboratorio tramite un acceleratore \rightarrow è l'unico che si
prepara in loco

gli altri vengono consegnati da un corriere dalla casa farmaceutica \rightarrow non bisogna studiare
pericolosi per il paziente. Alcol e mezzi si evita a prova di malattia

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

↳ in questo modo si crea l'immagine 3D

Completando intorno si costruisce un volume mettendo insieme le immagini

↳ poi si possono fare tutte le sezioni che si vuole

Normalmente 64 proiezioni ogni 5.6° \rightarrow si fa l'angolo giro di 360° \rightarrow per migliorare
la qualità dell'immagine, dato che la risoluzione aumenta con la distanza
(e o quella di dose non cambia nulla)

immagini di solito molto piccole e basse (128 x 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:

- il tipo di campionamento grezzo, dato dalla lunghezza dei salti del collimatore
- campionamento angolare: di quanto giri \rightarrow risoluzione in volume

Dato che il campo visivo è ellittico e si vuole vedere il gammadometro \rightarrow + volume
possibile \rightarrow binocolo e movimento ellittico

Modalità di acquisizione:

- stop and snip: il gammadometro ferma di tanto l'immagine e poi ruota e così
via (tempo di 1s per immagine) \rightarrow totale qualche minuto
↳ è adottato da movimento si vede appena
- continuous rotation method: continua a muoversi mentre acquisisce
e + volume, ma le immagini sono leggermente peggiori

Si usa per diagnosi o quello neurologico e MORBO DI PARKINSON

↳ per questo si usa il continuo perché il paziente ferma fotograficamente

Spect o più teste rotanti gammadometro sopra e sotto \rightarrow sopra + 180°
devo essere uguali.

(anche a 3 gammadometri \rightarrow per sezioni di tipo cerebrale)

Se sull'esame ci sono delle sigle che indicano il radiofarmaco
(es. DAT SCAN \rightarrow parkinson)

11-01-2011

PET: tomografia ad emissione di positroni

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

\rightarrow bisogna produrre sul posto: dispositivo CICLOTRONE (acceleratore di particelle) per
produrre il farmaco: gli atomi vengono bombardati da altri atomi

è necessaria una camera (3-4 m) e occupa tanto spazio \rightarrow per costruire una PET
circa chiedere le permessi della regione Piemonte

Si rimane radioattivi per un tempo minore.

I traccianti PET sono vantaggiosi perché sono per sintesi chimica organica

↳ interagiscono con i processi fisiologici perché ne fanno parte

O. frontocervello cerebrale e del miocardio

Quando viene emesso un positrone (P⁺) insieme un elettrone di percorso si annichisce e
l'energia viene divisa in 2 fotoni di 511 KeV solo stesso lato che per verso opposto

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

↳ è lo stesso punto del collimatore praticamente

Due gammacamere vedono attraverso due fotoni → linea dell'evento: posizione tutte dove c'è la

distribuzione del radiofarmaco → l'immagine è formata come addebiamento di linee dell'evento
Come faccio a considerare 2 fotoni come gemelli? Rivelatore di coincidenze: misura il tempo in cui ogni fotone arriva sulla gammacamera. 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 (quanto se erano una coppia e quello?)

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

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

↳ c'è una struttura dei contorni: non importa che a interessa le dettagli funzionali, non anatomici

• la linea nera come alla linea dell'evento possiamo anche conoscere il punto dove si sono generati misurando il tempo (o la distanza) → non si fa perché il contatore darebbe un valore in distribuzione del radiofarmaco (non si può fare): 4 ns = 20 cm → ΔPS = 0.3 mm

→ esistono dispositivi di misura che fanno anche questo calcolo: PET + TERO 0.1 ns

risolte 5-6 volte in più e non danno informazioni aggiuntive del punto di vista clinico

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

• FALSE COINCIDENZE

- SCATTER: uno dei due fotoni viene deflesso anziché se perpendicolare + strada, la finestra di coincidenza è persa → linea sbagliata

- PROMPT: se due posizioni generano 2 fotoni in tempi vicini, e arrivano tutti e 4 nello stesso di coincidenza, posso trarre la linea evento tra 2 fotoni non gemelli

↳ non c'è problema

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

Adesso il sistema PET è fatto a formare un anello di rivelatori (di gammacamere, piccoli sensori sensibili solo a gamma)

→ 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 traccianti + biologici

La SPECT non necessita del accettore → radiofarmaci prodotti industrialmente



Usate per diagnosticare tumore → se c'è o no

↳ a quale stadio è

• neurologia: i traccianti si legano alle aree del cervello → diagnosi patologie elettriche e altre del cervello (neuradegenesive)

↳ se sul malato si ha una riduzione dell'attività

• cardiologia