



Detectores utilizados para la obtención de imágenes en tomografías por emisión de positrones

Iair Kolberg

Monografía vinculada a la conferencia de la Dra. Henia Balter y el Bach. Marcelo David sobre PET del 25 marzo de 2008

Email: iair007@gmail.com;

Resumen

Fundamentos - Motivado por la charla recibida por la Dra. Henia Balter y Bach. Marcelo David surge la idea de profundizar en los distintos tipos de detectores utilizados por PETs. En este documento usted encontrará una breve descripción del funcionamiento de estos tanto así como sus características básicas.

Metodología - Se estudió la idea básica del funcionamiento de un PET para comprender cuál era el objetivo de los detectores. Una vez concluido ese estudio se investigó los distintos tipos de detectores de radiación indicando cuáles son los utilizados para la detección de rayos gamma, profundizando en ellos. 6

Resultados - Existen tres tipos de detectores que pueden ser utilizados en PET (gaseosos, centelladores y de estado sólido). Estos detectores utilizan la propiedad de ionización para la detección de rayos gamma. Los detectores gaseosos y de estado sólido la utilizan al desprenderse electrones de los átomos formando así una corriente eléctrica, mientras que en los detectores de centelleo, lo que sucede es la transformación de rayo gamma en luz visible y por el efecto foto eléctrico se genera una señal. Los detectores más utilizados en PET son los centelladores, ya que tienen una resolución aceptable y un costo aceptable. Los detectores de estado sólido son los que constan de mejor resolución, pero su alto costo los hacen pocos factibles para implementaciones de PETs. Por último los detectores gaseosos tienen poca eficiencia y son frágiles por lo que dificultarán el manejo de ellos.

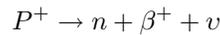
Introducción

La tomografía por emisión de positrones es utilizada con objetivos, de diagnósticos e investigación clínica o investigación biomédica. Esta técnica consiste en la emisión de positrones que al interactuar con algún electrón se generan dos fotones (rayos gamma) de 511 KeV emitidos con mismas direcciones y sentidos

opuestos. Detectando estos rayos se puede determinar la ubicación de la interacción del positrón - electrón. Repitiendo esta acción varias veces se puede determinar las áreas con mayores interacciones permitiendo así identificar zonas de concentración del radiofármaco emisor de positrones y realizar una imagen de la misma. [1] [2] [3] [5] [14] [15] [16] La idea de esta monografía es analizar los detectores utilizados para detectar rayos gammas.

1. Breve explicación física de la "generación" de rayos gamma

Una molécula está compuesta por átomos, donde cada átomo está compuesto por un núcleo y sus respectivos electrones ubicados en su periferia. Los átomos tienden a tener en su núcleo la misma cantidad de protones (Z) que de neutrones (N), Puede suceder que exista una mayor cantidad de protones que de neutrones en el núcleo de un tomo, y este tratará de estabilizarse disminuyendo los protones y aumentando los neutrones, para esto algunos protones se transforman en neutrones (N) más positrones (beta+) más neutrinos (ν) [10]



Este positrón se desprende del núcleo interactuando con electrones del mismo u otros átomos generando así dos fotones (rayos gamma) prácticamente con la misma dirección (variaciones del 5°) y sentido opuesto.

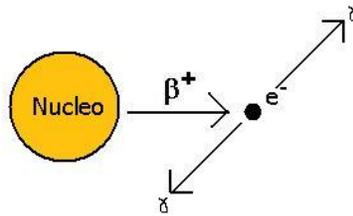


Figura 1: Generación de rayo gamma

Estos fotones cumplen la siguiente ecuación que nos indican su energía:

$$E_\gamma = 2m_0C^2 = 511KeV \text{ (Donde } m_0 \text{ es la masa de un electrón)}$$

Detectando estos rayos y con algoritmos específicos se puede detectar la posición donde se generó la interacción positrón - electrón y por consiguiente la ubicación de concentración de radiofármacos emisores de positrones.

2. Detectores

Existen tres tipos de detectores utilizados en los sistemas PET:

- Detectores Gaseosos
- Detectores Centelladores
- Detectores de estado sólido

2.1. Detectores Gaseosos

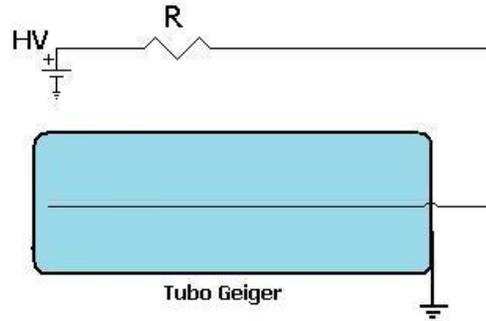


Figura 2: Diagrama de un detector gaseoso

Los detectores gaseosos se basan en la recolección directa de los electrones, como muestra la Figura 2 los detectores gaseosos constan de una cámara que contiene un gas. Esta cámara está sometida a una diferencia de potencial. Cuando es sometida a un campo de radiación ionizante se generan pares iónicos que se dirigen hacia los cátodos produciendo una señal eléctrica. Esta señal eléctrica se puede medir utilizando la resistencia (Ver Figura 2). [6] [7] [14]

Luego esta información es procesada comúnmente por un SCA (single channel analyzer) el cual será explicado más adelante.

Estos detectores se caracterizan por tener poca eficacia y por ser frágiles, por lo que son poco utilizados en los PET.

2.2. Detectores Centelladores

Los detectores centelladores están compuestos por un cristal, que produce un rayo de luz visible al ser incidido por radiación ionizante (ejemplo un rayo gamma), éste centellador está usualmente conectado a un foto multiplicador, el cual es un tubo que contiene un foto cátodo de un extremo que cumple la función de liberar electrones de forma proporcional a la luz que recibe (efecto Fotoeléctrico) [11], luego en lo largo del tubo se amplifica la señal obtenida del foto cátodo. De esta forma se genera una corriente por el foto multiplicador que es proporcional a la energía del rayo incidente en el centellador. [6] [7] [14]

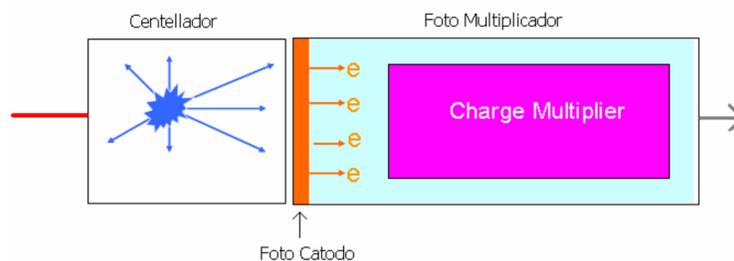


Figura 3: Diagrama de un detector centellador [14]

Usualmente se utiliza lo que es llamado un tubo de luz [14] entre el centellador y el foto multiplicador. Este dispositivo cumple tres funciones básicas.

- La primera consta en igualar la energía percibida por el foto cátodo de forma geométrica, como se puede observar en la siguiente imagen(Ver Figura 4).
- La segunda función es la de separar al foto multiplicador del área de radiación, esto es necesario en ciertos casos donde el centellador es necesario colocarlo en ambientes con campos electromagnéticos, ya que los foto multiplicadores son muy sensibles a ellos, colocando un tubo de luz se logra alejarlo del campo magnético.
- Por ultimo la tercer función es la de mejorar la resolución.

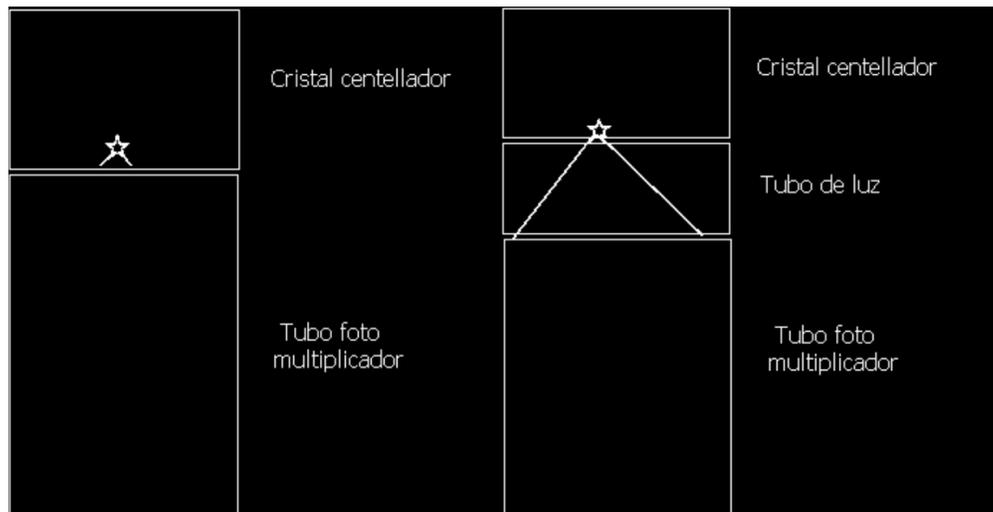


Figura 4: Comparacin con y sin “tubo luz”

2.2.1. Funcionamiento de los tubos Foto Multiplicadores

Los foto multiplicadores constan de un tubo en el cual en un extremo se encuentra un foto cátodo. Los foto cátodos consisten en materiales con baja función de trabajo, lo que quiere decir que los electrones pertenecientes al material contienen un bajo nivel de energía lo cual pueden ser fácilmente desprendidos del átomo por fotones luminosos. Estos foto cátodos tienen una eficiencia del 10 % aproximadamente, por lo cual de cada 10 fotones que inciden sobre el se desprende un electrón. [6] [14]

Este electrón es enviado a través de una grilla de foco que se encuentra a un potencial de 100 V, la cual acelera el electrón hasta un cátodo (Dinodo) con un potencial 100 veces mayor que la grilla y con baja función de trabajo por lo que se desprenden entre tres y cuatro electrones con un potencial de 200 V, luego estos electrones llegan a otro Dinodo con un potencial 100 veces mayor generando el mismo resultado. Durante el foto multiplicador se repite este proceso por diez o más veces. Al pasar por el último Dinodo la carga es recolectada por un nodo generando un voltaje proporcional a la luz recibida (Ver Figura 5). Comúnmente esta señal es introducida en un SCA.

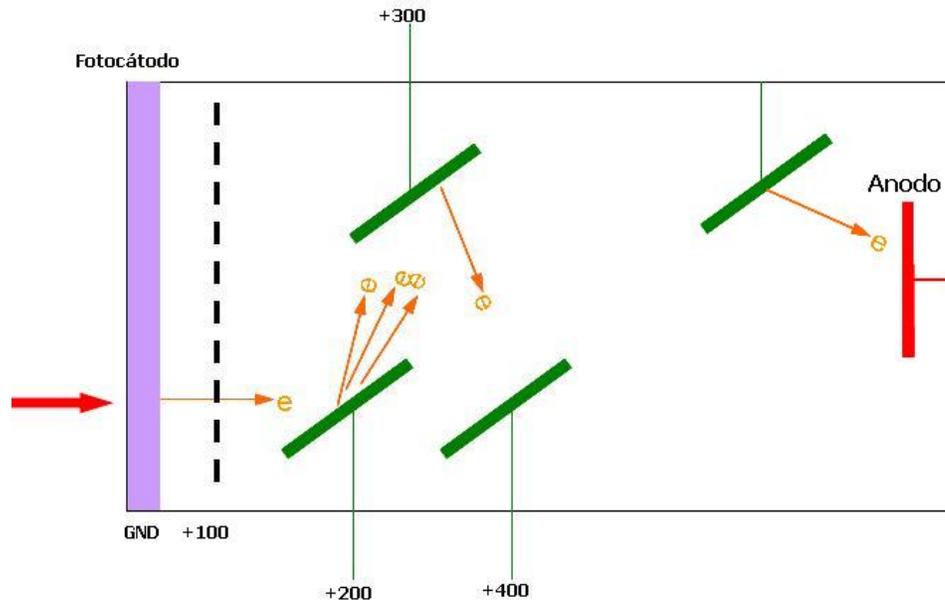


Figura 5: Esquema de un foto-multiplicador

2.3. Detectores de Estado sólido

Un buen detector actúa como un aislante en ausencia de rayos gamma y en conductor cuando hay rayos gamma. Por esta razón un detector sólido está compuesto por un semiconductor. La propiedad que utiliza es la de ionización y cuando incide un rayo ionizante circula corriente sobre él, esta corriente es proporcional a la energía del rayo incidente permitiendo así la medición de la misma.

Generalmente los semi-conductores utilizados para estos medios son de Silicio y Germanio. [6] [9] [13] [14]

Sus ventajas son las siguientes:

- La alta densidad del medio ionizado; esto implica una considerable eficiencia de detección por unidad de volumen efectivo del detector.
- La energía necesaria para producir un par de portadores de carga en los semiconductores es aproximadamente diez veces menor que en los gases, y cien veces menor que en un centellador.
- Por lo tanto, para una misma energía impartida, la cantidad de portadores de carga producidos es mucho mayor en los semiconductores que en gases o centelladores, lo cual se traduce en menores fluctuaciones estadísticas, por lo que se tiene una mejor precisión.
- La movilidad de los electrones y huecos es elevada y por otra parte, es reducido el volumen efectivo del medio detector; ello se traduce en un tiempo de recolección de cargas muy breve (del orden del nano segundo), en consecuencia es elevada la resolución en tiempo.
- Pueden obtenerse fácilmente detectores muy delgados de manera que absorban una fracción de la energía de las partículas

A su vez, las desventajas de los mismos son:

- Su alta conductividad en comparación con la de los gases, lo cual se traduce en ruido que tiende a enmascarar la medición de partículas ionizantes de muy baja energía.

- Los defectos en su estructura cristalina (es decir, las vacancias y dislocaciones) producen recombinación de los portadores y, por lo tanto, pérdida de algunos de ellos, lo que resta eficiencia de detección.

3. Single Channel Analyzer (SCA)

La función de un SCA es la de discriminar los rayos gamma considerados dentro de una ventana de energía determinada. La razón de esta necesidad es para descartar información errónea que se puede dar por ruido electrónico. [12]

4. Conclusiones

Como se explica en el documento existen tres tipos de detectores que son utilizados en las tomografías por emisión de positrones. Los detectores con mayor precisión son los de estado sólido pero por su alto costo estos no se utilizan mucho. Por otro lado están los detectores gaseosos que tienen una baja resolución y son frágiles. Por lo tanto los más utilizados en los PETs son los detectores centelladores ya que son los que cumplen mejor la relación eficiencia - costo.

Agradecimientos

Se agradece a Marcelo David y la Dra. Henia Balter por su disposición y colaboración para la elaboración de este artículo.

Referencias

1. <http://www.med-ed.virginia.edu/courses/rad/PETCT/Detector.html>, *PET*, 2008/06/15
2. http://depts.washington.edu/nucmed/IRL/pet_intro/index.html, *PET*, 2008/06/15
3. http://es.wikipedia.org/wiki/Tomograf%C3%ADa_por_emisi%C3%B3n_de_positrones, *PET*, 2008/06/15
4. <http://www.radiologyinfo.org/sp/info.cfm?pg=PET&bhcp=1>, *PET*, 2008/06/15
5. <http://www.asacirujanos.es/articulos/articulosconcretos.php?id=3>, *PET*, 2008/06/15
6. <http://209.85.165.104/search?q=cache:5B5NBDMJV5EJ:www.proxtronicscr.com/CFP/tema4.pdf+detectores+gaseosos&hl=es&ct=clnk&cd=4&gl=uy>, *Detectores*, 2008/06/15
7. http://nuclear.fis.ucm.es/research/thesis/dea_esther.pdf, *detectores centelladores*, 2008/06/15
8. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lfa/bautista_a_md/capitulo4.pdf, *detectores centelladores*, 2008/06/15
9. <http://html.rincondelvago.com/detectores-de-radiacion.html>, *detectores estados solidos*, 2008/06/15
10. <http://es.wikipedia.org/wiki/Neutrino>, *Neutrinos*, 2008/06/15
11. http://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_fotoel%C3%A9ctrico, *Efecto Fotoeléctrico*, 2008/06/28
12. <http://www.canberra.com/products/676.asp>, *Single Channel Analyzer*, 2008/06/28
13. <http://www.institucional.us.es/labrayx/destsol.htm>, *Detector de estado Sólido*, 2008/06/25

14. Basic Nuclear Instrumentation; CD 1 version 2.0, Detector - Mr. F. Clickeman, *IAEA*,
15. Radiofármaco PET de uso humano en España: pasado y presente, Cortés-Blanco A, *Seguridad Nuclear*, 2007;42:28-35.
16. Reconstrucción de imágenes en tomografía por emisión de positrones, *Revista real academia de ciencias exactas*, G. Kontaxakis, J.J Vaquero, A. Santos, Vol 96 , N^os 1-2, pp 45-67, 2002