

Les aplicacions mèdiques dels acceleradors de partícules

Júlia Altarriba Paracolls (julia_23_95@hotmail.com)

Estudiant de l'INS Guillem de Berguedà, Berga

Tan la física com la medicina són dues ciències presents en la majoria de processos de la nostra vida quotidiana. Els coneixements que la societat ha anat adquirint en aquests àmbits són en gran part gràcies als acceleradors de partícules. Existeixen varis tipus d'acceleradors de partícules, des d'acceleradors lineals fins a acceleradors circulars. Tots ells tenen moltes aplicacions en la ciència, sent una de les més utilitzades actualment les mèdiques. Aquest article tracta precisament d'aquestes dins l'àmbit oncològic, on podem trobar-hi tant l'ús de radioisòtops en els mètodes de diagnosi com l'ús de radiació en teràpies.

Paraules clau: acceleradors de partícules, mètodes de diagnosi, radioteràpia, radiació, isòtops.

Both physics and medicine are two sciences present in most of our daily life processes. The knowledge society has acquired in these areas are largely due to particle accelerators. There are several kinds of particle accelerators ranging from linear to circular. They all have lots of applications to science; being nowadays one of the most used the medical ones. This article deals mainly with those on the oncological field, where we can find both the use of radioisotopes to help diagnostics and the use of radiation in some therapies.

Keywords: particle accelerators, diagnostic methods, radiotherapy, radiation, isotopes.

La idea d'aquest article va sorgir a partir de l'elaboració d'un treball de recerca, l'objectiu del qual era conèixer les aplicacions mèdiques que poden arribar a tenir els acceleradors de partícules. Aquests ens permeten estudiar la major part de la matèria que existeix actualment, cosa que és de vital importància en la recerca científica per poder desenvolupar en un futur noves tècniques per millorar la nostra qualitat de vida.

QUÈ SÓN ELS ACCELERADORS DE PARTÍCULES?

Els acceleradors de partícules són uns dispositius que acceleren partícules a altes velocitats properes a les de la llum i, en alguns casos, les fan col·lidir amb altres partícules o se n'aprofita la radiació que desprenen. Aquests es podrien classificar en dos grans classes: els circulars i els lineals.

Els acceleradors han permès als físics investigar en molts àmbits diferents; biologia molecular, ciències ambientals, teràpies, ciències dels materials, etc. Actualment però, podríem centrar la seva ocupació en tres usos principals: la recerca científica, les aplicacions mèdiques i els usos industrials.

Aquest article parla precisament d'una d'aquestes, les mèdiques.

LES SEVES APLICACIONS MÈDIQUES

Dins d'aquestes aplicacions podríem agrupar els acceleradors que s'utilitzen en dues funcions principals. Uns són utilitzats per la producció d'isòtops radioactius i altres, per a la radioteràpia amb diferents tipus de partícules. Els acceleradors que poden dur a terme aquestes activitats són:

- **Ciclotrons:** aquests porten a terme la producció de radioisòtops per teràpia o diagnòstic d'imatge

(TEP i gammagrafia), així com també la producció de protons per radioteràpia.

- Acceleradors lineals: són els utilitzats en la radioteràpia convencional i en modalitats avançades.
- Acceleradors circulars (ciclotrons de mitja energia i sincrotrons): usats en teràpia d'hadrons amb protons o feixos de ions lleugers.

A continuació, ens centrarem en les principals aplicacions, els mètodes de diagnosi utilitzats en oncologia i en la radioteràpia.

MÈTODES DE DIAGNOSI

Els mètodes de diagnosi són els que ens permeten detectar, localitzar i analitzar amb precisió les diferents malalties del cos humà. Els principals mètodes en què els acceleradors de partícules hi estan implicats són el PET, la gammagrafia, el TAC i la Ressonància Magnètica Nuclear.

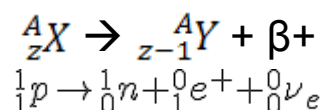
PET

El PET o TEP (Tomografia per Emissió de Positrons) és una tècnica de diagnosi per imatge 'in vivo' que ens permet mesurar l'activitat metabòlica dels diferents òrgans i teixits del cos humà a diferència de la ressonància magnètica i el TAC que només ens mostren l'estructura i el flux sanguini. El que fa aquesta tècnica és detectar i analitzar la distribució tridimensional d'un radioisòtop injectat a l'interior del cos.

Els isòtops inestables que es necessiten per poder dur a terme aquesta tècnica s'obtenen d'un accelerador de partícules, en aquest cas d'un ciclotró. A continuació s'obtenen compostos químics que utilitzin aquests elements com per exemple aigua, glucosa, amoníac, etc. El que faran aquests isòtops inestables és desintegrar-se al cap de poc temps emetent positrons per convertir-se en àtoms estables. El compost s'introdueix al corrent sanguini del pacient perquè la sang el transporti a la zona del cos que volem examinar. Depenent del que estem observant utilitzarem un compost o un altre. Per exemple, en el cas dels malalts oncològics, s'injecta el compost *fluorodesoxiglucosa* ($C_6H_{11}FO_5$) que es fabrica a partir de fluor-18 ja que les cèl·lules cancerígenes absorbeixen més glucosa de la normal. Així, com que aquestes absorbiran el compost, s'emetrà la radiació que ens farà detectar on està localitzat el tumor.

Un cop injectat el radioisòtop al pacient, aquest es col·loca dins l'escàner TEP per detectar la radiació que emetrà. Aquests isòtops tenen una vida

mitjana breu, d'uns dos minuts. Si fos massa curta no en podríem detectar la radiació; però si durés més, la radiació podria acabar perjudicant els nostres teixits. Durant aquests dos minuts, l'isòtop decau emetent un positró. Aquest positró és el resultat d'una desintegració β^+ . Les desintegracions tenen lloc quan un àtom no és estable. En aquest cas, la inestabilitat és causa d'un excés de protons. Aquesta desintegració β^+ emet un neutró, un positró i un neutrí.



Dins les cèl·lules, els positrons viatgen una distància d'1mm o menys. Aquests xocaran amb els electrons que hi ha al voltant. Els positrons, en ser l'antipartícula dels electrons, s'anihilaran (es desintegraran) i emetran dos fotons de molta energia en sentits gairebé totalment oposats que aniran de l'interior del cos cap a l'exterior (Fig.1).

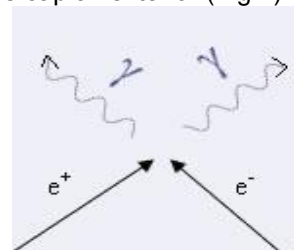


Figura 1. Procés d'anihilació positró-electró.

Aquests fotons que s'alliberen són en forma de radiació gamma; si la radiació fos alfa o beta, podria arribar a danyar el nostre cos, i a més, la gamma és la única radiació de les tres que té la capacitat de sortir fins a l'exterior del cos.

A continuació, els tomògrafs detecten la radiació gamma i l'ordinador elabora un mapa de lluminositat. Segons si les cèl·lules han absorbit molt compost o no, el diagrama que obtindrem tindrà més o menys intensitat.

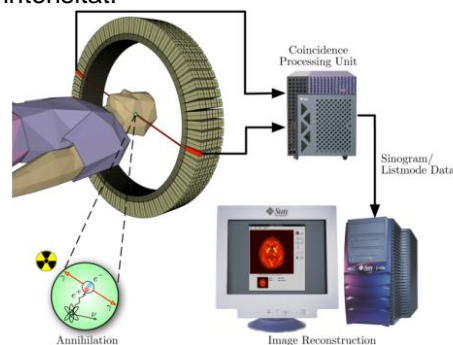


Figura 21. Procés físic de desintegració del radioisòtop, la detecció dels fotons i el processament de dades en la TEP. FONT: eltamiz.com

Hi ha molts tipus de radioisòtops utilitzats en medicina. A continuació es mostra una taula amb alguns dels isòtops utilitzats en oncologia:

ISÒTOP	COMPONENT DEL TRAÇADOR	PROCÉS FISIOLÒGIC O FUNCIO	APLICACIÓ TÍPICA
^{11}C	Metionina	Síntesi de proteïnes	Oncologia
^{18}F	Fluoro-desoxiglucosa	Metabolisme de la glucosa	Oncologia, neurologia, cardiologia
^{18}F	Ió fluorur	Metabolisme dels ossos	Oncologia
^{18}F	Fluoro-misonidazole	Hipòxia	Oncologia – respon a la radioteràpia

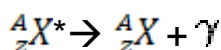
Taula 1. Isòtops utilitzats en oncologia. FONT: depts.washington.edu

GAMMAGRAFIA

La gammagrafia, igual que el TEP, és una tècnica de diagnosi per imatge que consisteix en detectar la radiació que emeten els radioisòtops injectats dins del pacient conjuntament amb un compost. Aquesta radiació és captada per una càmera de raigs gamma o gammacàmera que realitzarà una imatge tridimensional de la zona del cos adjacent.

La radiació detectada per la càmera de raigs gamma, ens permet veure si la part del cos que estem estudiant no té un subministrament de sang normal, ja que la part danyada no absorbirà bé el radioisòtop i per tant no detectarem cap radiació per part d'aquesta zona. La radiació és detectada per una placa electrònica que determina el lloc exacte on han impactat els raigs i a partir d'aquesta informació es pot crear una fotografia composta de milions de punts petits i brillants.

Una gammagrafia segueix pràcticament el mateix procediment que la TEP però amb la diferència de que la radiació que obtenim prové d'una desintegració γ (gamma). Aquesta desintegració té lloc en nuclis d'àtoms excitats. Quan els protons o els neutrons del nucli tornen al seu estat original, emeten energia a través d'un fotó que en aquest cas és radiació gamma.



TAC

Un TAC (Tomografia Axial Computaritzada) és una tècnica de diagnosi que permet obtenir una imatge d'un tall del cos. La imatge s'obté a partir de moltes altres que han dut a terme un emissor i un detector de raigs X. Aquests dos estan col·locats en un anell pel qual passa el pacient i que envia tot el que detecta en un ordinador que més tard generarà la imatge que volem obtenir.

Els raigs X emesos s'obtenen d'un petit accelerador de partícules en el qual es fan accelerar electrons. Aquests electrons després xoquen amb un metall que els fa desacelerar, aquesta energia cinètica que perden surt en forma de fotons. Els fotons obtinguts tenen molta energia, per tant, molta freqüència i una longitud d'ona molt petita, característic dels raigs X.

Els raigs X travessaran una part del cos i seran detectats a l'altre banda de l'anell. Aquest procés es fa cada vegada amb un angle diferent. Quan ja s'han completat els 360° del pacient, es crea la imatge del tall del cos a l'ordinador.

No tots els fotons arriben a l'altre banda del cos. Els que travessen un material més dens són sovint absorbits, i els que passen per zones toves són els que tenen més probabilitat d'arribar a l'altre extrem.

RMN

La Ressonància Magnètica Nuclear (RMN) és una tècnica que sotmet els nuclis atòmics a un intens camp magnètic i després els banya en ones de ràdio. Un aparell de RMN utilitza un imant potent fix, imants secundari variables i bobines emissores i receptors d'ones de ràdio per dur a terme el procés.

El que fa la RMN és afectar el nucli atòmic dels àtoms d'hidrogen. Aquests al tenir només un protó, tenen només un espín en el seu nucli que gira aleatòriament (cosa que no passaria en un àtom amb un nombre parell de protons ja que aleshores tindria un nombre parell d'espins i la meitat d'aquests girarien en un sentit i l'altre meitat cap a l'altre). El imant fa que un de cada un milió de protons s'orienti cap al camp magnètic adjacent. A continuació, els tres imants secundaris creen un camp magnètic secundari en cada una de les tres direccions de l'espai. Aquests camps tenen dues propietats: són gradients (van d'un valor mínim, a l'esquena per exemple, a un màxim, al pit) i poden encendre's i apagar-se molt ràpid ja que són electroimants.

Els diferents camps magnètics faran que en cada tall del teu cos els protons girin amb freqüències diferents. Per identificar la part del cos adequada, passem a utilitzar les bobines de radiofreqüència. Cal calcular la freqüència de Larmor de la capa i emetre ones de ràdio amb la mateixa freqüència, això farà que els protons d'aquella capa comencin a absorbir energia de l'ona electromagnètica. Quan es deixen d'emetre les ones, els protons que havien absorbit l'energia, tornen al seu nivell original i desprenen l'energia emetent un fotó que serà detectat.

TERÀPIES

La radioteràpia, com ja s'ha dit, és una altre de les aplicacions més importants dels acceleradors de partícules en medicina. Els acceleradors són els que ens permeten obtenir diferents tipus de partícules per a aquest tractament contra els tumors.

Segons el procés que s'utilitza podem obtenir diferents tipus de radiacions amb:

- FOTONS: raigs X i raigs gamma.
- PARTÍCULES: electrons, protons, neutrons, partícules alfa i partícules beta.

Si parlem de les radiacions més comunes, les més utilitzades són els fotons i els electrons, però en altres casos també s'utilitzen protons i neutrons.

Els *fotons* provenen de fonts radioactives com el cobalt o d'acceleradors lineals, a partir dels quals també s'obtenen els feixos d'*electrons*. Els *protons* són més nous en l'àmbit de la radioteràpia. És un tipus de radiació que causa pocs danys a les cèl·lules que travessa però destrueix les que es troben al final de la seva trajectòria. Així que els protons són capaços d'enviar més radiació en el lloc on es concentra el càncer disminuint així els efectes secundaris en les cèl·lules sanes. El tractament a partir de *neutrons* es útil per tumors inoperables i pels que altres formes no hi són eficaces. El seu ús està disminuint ja que els neutrons afecten greument l'ADN, i això encara que sigui beneficiós per eliminar les cèl·lules cancerígenes, malmetra també els teixits sans. Aquestes dues últimes radiacions requereixen equips molt especialitzats per això només pocs hospitals les poden aplicar.

CONCLUSIONS

Relacionant dues ciències tan importants en l'actualitat com la física i la medicina hem vist que

els acceleradors de partícules poden tenir moltes aplicacions diferents però una de les més importants són les mèdiques. Aquestes tenen una gran importància en l'àmbit de l'oncologia ja que els acceleradors són utilitzats tan en la producció de radioisòtops emprats en mètodes de diagnosi com en la producció de radiació per a la radioteràpia.

Cal tenir en compte que segons el tipus d'accelerador que utilitzem, obtindrem diferents resultats. Els acceleradors lineals són els utilitzats en la radioteràpia convencional i en els TAC; mentre que els acceleradors circulars, en general, s'encarreguen de produir protons i feixos de ions lleugers per aquest mateix tractament oncològic. Si concretem dins dels circulars, els ciclotrons són els que produeixen radioisòtops per mètodes de diagnosi com el TEP o la gammagrafia i també protons en radioteràpia.

Així que podríem concloure dient que els acceleradors de partícules són de vital importància en l'àmbit mèdic ja que gràcies a aquests podem estudiar el cos humà de maneres que fa pocs anys no ens eren possibles, i el que és més important, podem aconseguir la cura d'una malaltia molt abundant en l'actualitat.

BIBLIOGRAFIA

CASELLAS TAVI. *et d'altres*. (2012). *Projecte de física en context: Un viatge al-lucinant*. Barcelona.

GUIRADO LLORENTE, DAMIÁN. *et d'altres*. (2003). *Radiobiología clínica*. Madrid: Sociedad española de física médica. Servymagen Union, S.L.

STEWART, KEN. *et d'altres*. (1992). *La física en sus aplicaciones*. Madrid: Ediciones Akal.

WILLIAM, J.R.; THWAITES, D.I. (1993). *Radiotherapy physics in practice*. New York: Oxford University Press.

Badawi, Ramsey. (1999). [en línia] *Introduction to PET physics*.

<http://depts.washington.edu/nucmed/IRL/pet_intro/> [Data de consulta: setembre 2012]

GÓMEZ ESTEBAN, PEDRO; CRICK, GELI. [en línia] *El Tamiz*. <<http://eltamiz.com/>> [Data de consulta: setembre 2012]

International Atomic Energy Agency. [en línia] *Chapter 5: Treatment Machines for External Beam Radiotherapy (2006)*.

<http://www-naweb.iaea.org/NAHU/DMRP/documents/slides/Ch_05_MacForm.pdf> [Data de consulta: juliol 2012].