

vol. 10

2/2021

30,00 zł (w tym 8% VAT)

ISSN 2300-1410

ICV 2019: 67.26

Medycyny FIZYK



inżynieria | fizyka medyczna | technika | elektroradiologia | radiologia

**UNITED
IMAGING**



Egzamin państwowy w dziedzinie fizyka medyczna

Napromienianie płuc chorych na COVID-19

Unikatowe cechy radiacyjnej sterylizacji i higienizacji

Postępowanie z pacjentami leczonymi systemem MRIdian

Zastosowanie aplikacji Machine Performance Check (MPC)

SGRT w procedurach stereotaktycznych

Podstawy teoretyczne i metody obliczeniowe dozymetrii wewnętrznej

Innowacyjne bolusy żelowe

Wartość referencyjna a częstość stwierdzenia poszerzenia aorty

Philips IntelliSpace Cardiovascular

Rozwój techniki obrazowania pozytonium – PET

Protonowa spektroskopia rezonansu magnetycznego (1H MRS)

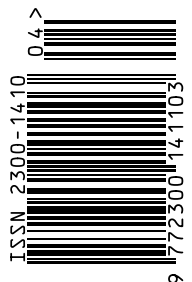
Cyfrowe obrazowanie LG DXD

COVID-19 w pracowni MRI

Zastosowanie supresji kości w rutynie klinicznej

AIR™ Recon DL do rekonstrukcji obrazu MR

Monitorowanie dawki pacjenta



Tajemniczy Pośłaniec Przestrzeni k | s. 145



Rozwój techniki obrazowania pozytonium przy użyciu skanera PET na całe ciało

Paweł Moskał¹, Ewa Stępień²

¹ Zakład Doświadczalnej Fizyki Cząstek i Jej Zastosowań, Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Wydział Fizyki Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński, ul. prof. Stanisława Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków, tel. 48 12 664 45 58, e-mail: p.moskał@uj.edu.pl

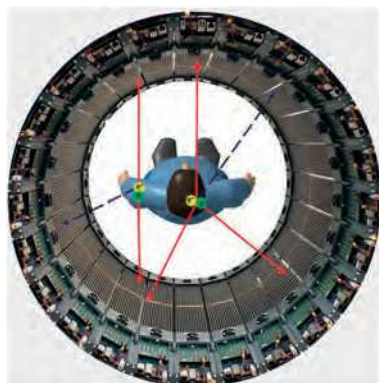
² Zakład Fizyki Medycznej, Instytut Fizyki im. M. Smoluchowskiego, Wydział Fizyki Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Jagielloński, ul. prof. Stanisława Łojasiewicza 11, 30-348 Kraków, tel. 48 12 664 47 62, e-mail: e.stepien@uj.edu.pl

Grupa badawcza J-PET (od Jagielloński Pozytonowy Emisyjny Tomograf) opracowuje ekonomiczną technologię budowy skanerów PET do jednoczesnego obrazowania całego ciała, opartą na scyntylatorach plastikowych. Najnowocześniejsze systemy PET zbudowane są z drogich kryształowych scyntylatorów ułożonych promieniście w pierścieniu otaczające pacjenta. Ekonomiczny skaner TB-J-PET (*Total Body J-PET*) opracowywany przez grupę J-PET zostanie zbudowany z osiowo ułożonych modułów składających się z plastikowych pasków scyntylacyjnych, odczytywanych na końcach przez krzemowe fotopowielacze (SiPM). Skaner J-PET może być zbudowany jako urządzenie modułowe, lekkie i przenośne, umożliwiające dowolne dostosowanie przestrzeni tomografu do potrzeb pacjenta, co może pomóc w rozszerzeniu diagnostyki PET o pacjentów, którzy nie mogą zostać zbadani standardowym PET z powodu otyłości lub klaustrofobii. Na rycinie 1 przedstawiono prototyp modułowego tomografu J-PET. Zastosowanie scyntylatorów plastikowych i ich osiowe ułożenie umożliwi wykonanie ekonomicznego PET o dużym osiowym polu widzenia (AFOV), do 2,5 m, a nawet więcej. Takie podejście pozwala na obrazowanie całego ciała człowieka z dużą i jednolitą czułością w obrazowaniu pacjenta, od mózgu po stopy.

Plastikowe scyntylatory są kilkadziesiąt razy tańsze niż scyntylatory kryształowe. Dodatkowo w przypadku TB-J-PET koszt elektroniki jest proporcjonalny do poprzecznego przekroju detektora, natomiast w przypadku TB-PET z kryształów jest on proporcjonalny do powierzchni cylindra detekcyjnego. Plastikowy TB-J-PET może być pięciokrotnie tańszy niż podobnego rozmiaru skaner oparty na kryształach, co czyni go osiągalnym i opłacalnym rozwiązaniem do szerokich zastosowań klinicznych. Szanse i perspektywy kliniczne obrazowania PET całego ciała przy użyciu plastikowych scyntylatorów zostały niedawno omówione w artykule przeglądowym [P. Moskał, E. Stępień, *PET Clinics* 15 (2020) 439-452]. Tutaj tylko pokrótce podsumowujemy główne zalety, jakie TB-J-PET może zapewnić w diagnostyce.


Wysoka czułość, ponad dziesięciokrotnie wyższa niż w tradycyjnym PET, otworzy przed TB-J-PET możliwości zastosowania

w skanach PET zdarzeń z emisją trzech lub więcej fotonów. Niektóre przykłady zdarzeń wielofotonowych przedstawiono obrazowo na rycinie 1. System akwizycji danych tomografu J-PET umożliwia detekcję zdarzeń wielofotonowych. W szczególności umożliwia rejestrację i identyfikację fotonów z anihilacji na dwa ($e^+ e^- \rightarrow 2\gamma$) i trzy ($e^+ e^- \rightarrow 3\gamma$) fotony, a także rejestrację deekscytacyjnych kwantów gamma emitowanych w przypadku niektórych izotopów określanych jako emitery β^+ , takie jak np. ⁴⁴Sc, ⁶⁶Ga lub ⁸²Rb. W obecnych procedurach obrazowania PET, deekscytacyjne kwanty gamma są źródłem niepożądanego tła, a mogą być przydatne w diagnostyce. Zdolność TB-J-PET do rejestracji i identyfikacji sygnałów pochodzących z deekscytacyjnych kwantów gamma i fotonów anihilacyjnych, pozwoli na rejestrację i identyfikację zdarzeń pochodzących z różnych izotopów. Dlatego też w przypadku emiterów β^+ , TB-J-PET może być stosowany do jednoczesnego obrazowania wieloznacnikowego, a także do nowo opracowanego obrazowania czasu życia pozytonium, co jest nowym i obiecującym podejściem do oceny patologii tkanek *in vivo*. Niedawno zaproponowane obrazowanie pozytonium może dostarczyć informacji uzupełniających do obecnie używanych obrazów opartych o SUV – standaryzowaną wartość wychwytu (z ang. *standardized uptake value*). Podczas obrazowania PET pozyton (e^+) emitowany przez radionuklid anihiluje z elektronem (e^-) w ciele pacjenta, bezpośrednio lub poprzez utworzenie metastabilnego atomu pozytonium (atom zbudowany z elektronu i pozytonu). W organizmie człowieka atomy pozytonium powstają nawet w około 40% przypadków anihilacji pozytonów i elektronów z czego 10% to krótkożyjące atomy parapozytonium (125 pikosekund) a 30% to długożyjące atomy ortopozytonium (142 nanosekundy). W tkance średni czas życia ortopozytonium silnie zależy od wielkości wolnych przestrzeni wewnątrzcząsteczkowych (wolnych objętości między atomami), natomiast prawdopodobieństwo jego powstania zależy od zagęszczenia wolnych przestrzeni. Rysunek 2 obrazowo przedstawia podstawowe procesy zachodzące podczas obrazowania pozytonium na przykładzie badania raka prostaty.



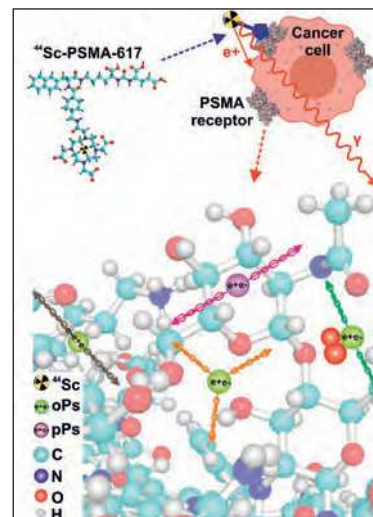
Ryc. 1 Zdjęcie pojedynczej warstwy, z osiowym polem widzenia o długości 50 cm, modułowego prototypu J-PET ze schematycznie pokazanymi anihilacjami elektron-pozyton w ciele pacjenta na dwa i trzy fotony (czerwone, ciągłe linie) oraz deekscytacyjnymi kwantami gamma (niebieskie przerywane linie) emitowanymi przez radionuklid β^+ , taki jak np. ^{44}Sc . Jednowarstwowy prototyp J-PET w osiowym polu widzenia 50 cm waży tylko około 60 kg. Składa się z 24 modułów, każdy zbudowany z plastikowych pasków scyntylacyjnych (czarnych) odczytywanych na obu końcach przez fotonowielacze krzemowe wyposażone w dedykowaną elektronikę czołową i digitalizującą, widoczną na pierwszym planie
Źródło: [1].

Główne cele grupy J-PET na najbliższe lata to budowa TB-J-PET i opracowanie (i) połączonego dynamicznego obrazowania SUV, (ii) kinetycznego obrazowania parametrycznego oraz (iii) obrazowania pozytonium, które może w przyszłości pełnić rolę biomarkera umożliwiającego nie tylko wykrycie obecności chorych tkanek, ale także rozróżnienie tkanek zapalnych, zakażonych i nowotworowych oraz pozwoli na ocenę stopnia złośliwości nowotworu.

Projekt TB-J-PET kierowany przez prof. Pawła Moskala (rozwój technologii obrazowania) i prof. Ewę Stępień (przedkliniczne badania biomedyczne) jest realizowany przez interdyscyplinarną grupę z Uniwersytetu Jagiellońskiego, Szpitala Uniwersyteckiego w Krakowie, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Instytut Chemii i Technologii Jądrowej, Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego oraz Warszawski Uniwersytet Medyczny. Projekt łączy technologie z różnych dyscyplin, w tym biologii, biofizyki, informatyki, elektroniki, inżynierii, fizyki, fizyki medycznej i medycyny. J-PET poszukuje nowych kandydatów na stanowiska badawcze, oferując konkurencyjne wynagrodzenia. 

Piśmiennictwo

1. P. Moskal, E. Stępień: *Prospects and clinical perspectives of total-body PET imaging using plastic scintillators*, PET Clinics, 15(4), 2020, 439-452, doi: 10.1016/j.cpet.2020.06.009.



Ryc. 2 Graficzne przedstawienie podstawowych procesów zachodzących w „obrazowaniu pozytonium” na przykładzie obrazowania raka prostaty. Do specyficznego dla prostaty antygenu błonowego receptora-PSMA (ang. prostate specific membrane antigen) przyłącza się ligand PSMA-617 znakowany radionuklidem ^{44}Sc . Receptory PSMA ulegają silnej ekspresji w komórkach nabłonka prostaty. Izotop ^{44}Sc emituje pozyton (e^+) i deekscytacyjny kwant gamma (γ) w następującym procesie: $^{44}\text{Sc} \rightarrow ^{44}\text{Ca} + e^+ + \gamma$. Pozyton oddziałujący z elektronami może tworzyć atomy pozytonium (oznaczone jako oPs lub pPs) wewnątrz cząsteczek w komórce, w tym w przestrzeniach międzycząsteczkowych w receptorach PSMA, jak wskazano w dolnej części szkicu. W tomografii J-PET można zarejestrować deekscytacyjny kwant gamma, który daje sygnał o czasie powstania atomu pozytonium. Strzałki wskazują fotony pochodzące z anihilacji para-pozytonium (pPs) i ortopozytonium (oPs) wewnątrz wolnej przestrzeni między atomami (odpowiednio strzałki w kolorze cykluamenu i pomarańczowym). Czarne strzałki wskazują anihilację oPs poprzez interakcję z elektronem z otaczającej cząsteczki, a zielone strzałki ilustrują fotony z konwersji oPs do pPs poprzez interakcję z cząsteczką tlenu, a następnie rozpad pPs na dwa fotony
Źródło: [1].

Zalecana literatura

1. P. Moskal, B. Jasińska, E.Ł. Stępień, S.D. Bass, *Positronium in medicine and biology*, Nature Reviews Physics, 1, 2019, 527-529.
2. P. Moskal, *Positronium Imaging*, 2019 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Proceedings (NSS/MIC), doi: 10.1109/NSS/MIC42101.2019.9059856.
3. P. Moskal et al.: *Feasibility study of the positronium imaging with the J-PET tomograph*, Phys Med Biol, 64, 2019, 055017, doi: 10.1088/1361-6560/aafe20.
4. P. Moskal et al.: *Performance assessment of the 2 γ positronium imaging with the total-body PET scanners*, EJNMMI Phys, 7, 2020, 44, doi: 10.1186/s40658-020-00307-w.