



Ze względu na bardzo dużą skuteczność (w okolicach 90%) metody PET w rozpoznaniu zmian nowotworowych, cechujących się zmianami metabolicznymi patologicznych komórek i tkanek [2], diagnostyka PET stała się podstawowym narzędziem diagnostycznym i kontrolnym w leczeniu chorób nowotworowych.

W Polsce według Krajowego Rejestru Nowotworów [3] w ciągu trzech ostatnich dekad liczba zachorowań na nowotwory złośliwe wzrosła dwukrotnie, osiągając w 2010 roku 140,5 tys., a liczba zgonów spowodowanych tymi chorobami w ciągu pięciu dekad podwoiła się. Zaprezentowana statystyka obrazuje skalę problemu i wskazuje, jak ważna jest wczesna diagnostyka chorób nowotworowych, zwiększająca szansę na wyleczenie.

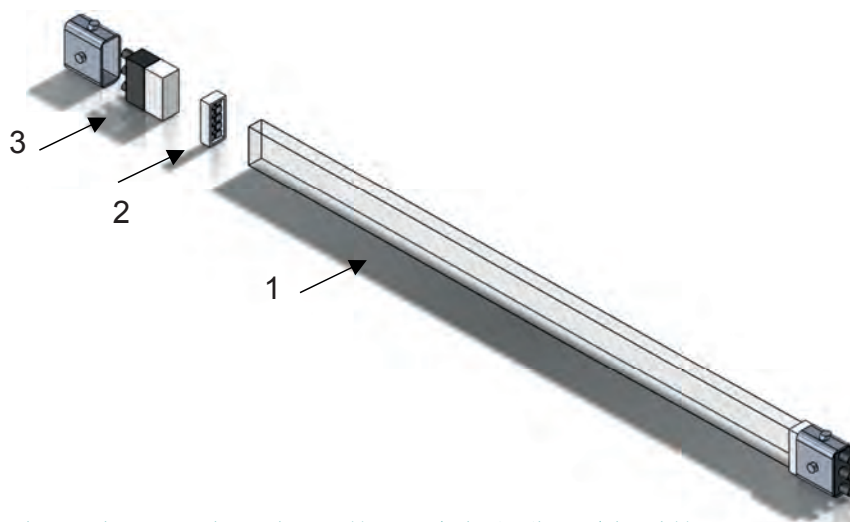
Hybrydowe techniki obrazowania, tzw. PET/TK i PET/MRI, mają na celu umożliwienie lokalizacji patologicznych stanów wewnątrz organizmu, objawiających się zmianami funkcjonalnymi poszczególnych tkanek, na mapie morfologicznej oraz bezpośrednio porównanie obrazu funkcjonalnego PET i anatomicznego MRI lub TK. Jak już wspomniano, obrazowanie MRJ pozwala na uzyskanie, oprócz obrazu anatomicznego, także informacji funkcjonalnej, mogącej stanowić uzupełnienie diagnostyki przy pomocy PET. Dodatkowo istotną zaletą MRJ jest jego nieinwazyjność, co pozwala na ograniczenie negatywnego wpływu badania na zdrowie pacjenta w odniesieniu do badania TK z udziałem promieniowania rentgenowskiego.

Na świecie od niedawna (rok 2010) [4] dostępne komercyjnie i stosowane w praktyce medycznej są urządzenia, tzw. tomografy hybrydowe PET/MRI, które pozwalają na korzystanie z zalet obydwu technik i ich połączenia w jednym urządzeniu, stając się potężne narzędzie o wciąż odkrywanych możliwościach diagnostyki medycznej. W chwili obecnej istotnym ich ograniczeniem, które może wpływać na wnioskowanie oraz zdiagnozowanie konkretnej jednostki chorobowej na podstawie otrzymanych obrazów jest niejednoczesność (w odniesieniu zarówno do czasu, jak i miejsca) wykonania badania PET i MRI. W komercyjnych rozwiązaniach hybrydowych, takich jak Philips TF PET/

MR [5], Siemens Biograph mMR [6] czy General Electric Heltcare Signa PET/MR [7], możliwe jest jedynie wykonywanie badań sekwencyjnych, czyli naprzemiennie PET lub MRI. W konsekwencji wiąże się to z ryzykiem istnienia błędów w otrzymywanych obrazach diagnostycznych, tzw. artefaktów, których źródłami mogą być niekontrolowane ruchy pacjenta czy fizjologiczne ruchy narządów wewnętrznych spowodowane oddychaniem, pracą serca lub perystaltyką układu pokarmowego. Istniejące algorytmy redukcji takich artefaktów rozwiązują problem tylko częściowo, gdyż zwykle nie uwzględniają przypadkowych ruchów tkanek, niesynchronizowanych z miarową pracą serca czy miarowym oddechem. Z tego względu jest niezwykle istotne, aby rejestracja obrazów obiema technikami stosowanymi w hybrydzie odbywała się w tym samym czasie tak, aby zmiany metabolizmu danego radiofarmaceutyku mogły być dokładnie skojarzone z odpowiednimi tkankami i precyzyjnie zlokalizowane.

W przypadku rozwiązań hybrydowych PET/MRI konieczne jest pokonanie szeregu barier technologicznych. Jednym z problemów jest stałe pole magnetyczne i silne impulsy elektromagnetyczne stosowane w MRJ, zaburzające działanie stosowanych powszechnie w PET detektorów – fotopowielaczy i elektronicznych systemów przetwarzania rejestrowanych przez nie sygnałów. Z kolei stosowane obecnie rozwiązania detekcyjne PET mogą wpływać negatywnie na lokalną jednorodność pola magnetycznego skanerów MRI oraz powodować zakłócenia w cewkach odbiorczych, rejestrujących słabe zmiany pól magnetycznych w obszarze badanych tkanek. Dzieje się tak na skutek prądów wirowych i fal elektromagnetycznych indukowanych w elementach elektroniki odczytu i transmisji sygnałów elektrycznych tomografu PET.

W diagnostyce medycznej nie bez znaczenia pozostają koszty związane z wprowadzeniem do jednostek medycznych najnowszych rozwiązań technologicznych, jakimi obecnie są tomografy hybrydowe PET/MRI. Obecnie niejako standardem jest posiadanie przez szpitale, a nawet specjalistyczne przychodnie



**Rys. 1** Moduł detekcyjny złożony z polimerowego paska scyntylacyjnego (1), matrycy detektorów półprzewodnikowych (2) oraz elektroniki odczytu i przetwarzania sygnałów (3)



tomografów MR. Jednakże stosowane w hybrydach rozwiązania technologiczne uniemożliwiają rozszerzenie istniejących urządzeń MRI do obrazowania hybrydowego – dlatego konieczna jest wymiana całego urządzenia na nowe, co niejednokrotnie przekracza możliwości finansowe placówek medycznych.

Jedną z możliwości połączenia obu metod w celu stworzenia jednego urządzenia wykonującego badanie jednocześnie jest wykorzystanie własności budowanych obecnie tomografów PET opartych o nowatorskie rozwiązania w zakresie detekcji promieniowania gamma, a mianowicie plastikowych materiałów scyntylacyjnych.

Opracowana innowacyjna konstrukcja do obrazowania tomograficznego PET zbudowana z plastikowych pasków polimerowych [8-11] może pełnić rolę wkładu do istniejących tomografów MRI, stanowiąc w ten sposób równoważnik systemów hybrydowych PET/MRI [13, 14]. Konceptcja nowego urządzenia oparta jest na układzie modułów detekcyjnych (Rys. 1) oraz detektorach krzemowych zastępujących dotychczas używane fotopowielacze. Sygnały świetlne, powstałe w plastikowym pasku scyntylacyjnym na skutek zdeponowania weń części energii promieniowania gamma, powstałego z anihilacji pozytonu i elektronu, rozchodzą się wzdłuż paska ku jego końcom. Tam rejestrowane są przez matrycę fotopowielaczy krzemowych. Zastosowanie matryc złożonych z wielu fotopowielaczy krzemowych do odczytu sygnałów świetlnych może poprawić dotychczasową dokładność rejestracji sygnałów świetlnych, a ściślej dokładność pomiar czasu ich dotarcia do końca paska. Dodatkowo cyfrowe układy elektroniczne do odczytu sygnału z fotopowielaczy krzemowych i szybka elektronika cyfrowa do rekonstrukcji miejsca i czasu anihilacji pary pozyton – elektron [12] nie będzie czuła na wpływ pola magnetycznego MR.

Niewątpliwym atutem opisywanego rozwiązania jest zgodność geometrii dwóch systemów oraz wyprowadzenie elektroniki detekcyjnej PET, znajdującej się na obrzeżach cylindra, poza obszar badany, zarówno metodą PET, jak i MRI (Rys. 2 a i b).

Ewentualne niejednorodności pola magnetycznego wprowadzone przez niewielkie elementy magnetyczne i elektroniczne

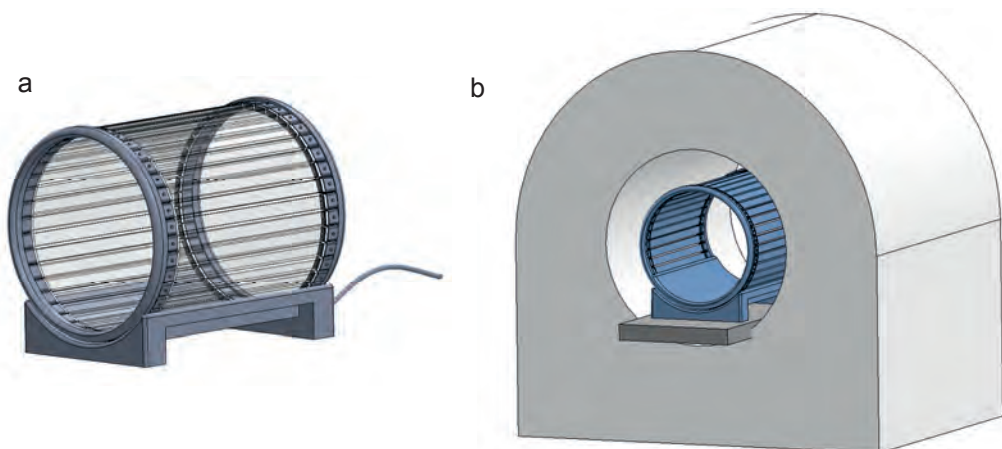
modułów detekcyjnych PET, w bezpośrednim ich sąsiedztwie, przy długościach scyntylatorów paskowych w granicach 30-100 cm, nie powinny zaburzać pola magnetycznego w objętości badanej wewnątrz cylindra tomografu PET. Z kolei same paski scyntylacyjne, jako że wykonane są z plastiku, nie oddziałują magnetycznie. Dodatkowo inne elementy konstrukcyjne wkładu tomograficznego PET będą wykonane z materiałów niemagnetycznych (np. tworzywa sztuczne).

Nowatorskie rozwiązanie umożliwi jednoczesną rejestrację obrazów PET i MRI w istniejących tomografach MRI bez konieczności ich modyfikacji sprzętowej czy oprogramowania. Istotną z punktu widzenia tej hybrydowej diagnostyki jest kwestia pozycjonowania względem siebie dwóch obrazów z różnych technik tomograficznych. Wprowadzenie znaczników wodnych, widzianych przez każdy system MRI, do konstrukcji mobilnego tomografu PET wydaje się być skutecznym i jednocześnie najprostszym rozwiązaniem tego problemu, gdyż jednoznacznie określi położenie wkładu PET w tomografie MRI, a tym samym umożliwi proces translacji i skalowania względem siebie dwóch obrazów.

Możliwe zatem będzie jednoczesne obrazowanie ciała pacjenta technikami PET i MRI, co pozwoli na uzyskanie funkcjonalnych i morfologicznych informacji diagnostycznych tej samej objętości badanej i co ważne, w tym samym czasie. Zaletą takiego rozwiązania jest m.in. całkowite wyeliminowanie możliwości powstania artefaktów w obrazach tomograficznych, utrudniających identyfikację potencjalnych miejsc występowania ognisk nowotworowych.

Dodatkową zaletą będzie także krótszy czas przebywania pacjenta w urządzeniach diagnostycznych, a tym samym pozytywny wpływ na jego samopoczucie.

Nowatorska koncepcja układów detekcyjnych mobilnego tomografu pozwala również na udoskonalanie samej metody wykonania badania wraz z algorytmami rekonstrukcji obrazów oraz ich wzajemnej synchronizacji, co znacząco poprawi parametry uzyskiwanych obrazów, m.in. rozdzielczość przestrzenną, zwiększając dokładność odwzorowania istotnych dla diagnostyki szczegółów.



**Rys. 2** Wizualizacja konstrukcji mobilnego wkładu tomograficznego PET jako samodzielnego urządzenia (a) złożonego z zestawu 60 modułów detekcyjnych, (b) wizualizacja zastosowania wkładu wewnątrz tomografu MRI



reklama



# najnowsze technologie w służbie człowiekowi

- niezależny serwis CT i MR
- sprzedaż sprzętu diagnostycznego używanego

**mvs**

MULTI VENDOR SERVICE

MVS sp. z o.o.  
ul. Bielska 49 | 43-190 Mikołów  
tel. +48 32 738 35 35  
e-mail: biuro@mvs.pl  
Grupa MESA | www.mvs.pl

Na koniec warto raz jeszcze podkreślić, że mobilny wkład tomograficzny PET pozwala na użycie istniejących urządzeń MRI posiadanych aktualnie przez szpitale. Jest to istotne nie tylko z powodów opisanych powyżej, ale także ze względów ekonomicznych, ponieważ spodziewana jest znaczna poprawa dostępności łączonej metody diagnostycznej PET/MRI ze względu na niższe koszty (co najmniej kilkakrotnie) adaptacji systemu w stosunku do ceny zakupu nowego urządzenia hybrydowego z oferty rynkowej. Ma to oczywiście znaczenie, biorąc pod uwagę ograniczone środki finansowe, jakie przeznaczają się dla placówek medycznych, szczególnie w mniejszych miastach. Obecnie zaawansowana diagnostyka nowotworowa w Polsce jest wysoce scentralizowana – tomografów hybrydowych PET/MRI jest zaledwie kilka, co ogranicza jej dostępność. Tym samym wydłuża okres oczekiwania na to ważne badanie, który, z oczywistych względów, powinien być jak najkrótszy.

## Podziękowania

Autorzy pragną podziękować za wsparcie badań przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu LIDER VI w projekcie o numerze LIDER/274/L-6/14/NCBR/2015 oraz zespół Centrum Transferu Technologii CITTRU Uniwersytetu Jagiellońskiego w zakresie ochrony patentowej.

## Literatura

1. A.F. Mettler Jr. et al.: *Radiology*, 248(1), 2008, 254-263.
2. O. Warburg: *On metabolism of tumors*, Constable, London, 1930.
3. <http://onkologia.org/pl/>
4. H. Wood: *PET-MRI scanner opens new frontier in medical imaging*, <http://www.mtbeurope.info/content/ft1005002.htm>
5. [http://www.healthcare.philips.com/main/products/nuclear-medicine/products/ingenuity\\_tf\\_pet\\_mr/index.wpd](http://www.healthcare.philips.com/main/products/nuclear-medicine/products/ingenuity_tf_pet_mr/index.wpd)
6. <http://www.healthcare.siemens.pl/obrazowanie-mr/mr-pet-scanner/biograph-mmr>
7. [http://www.3.gehealthcare.com/en/products/categories/magnetic\\_resonance\\_imaging/signa\\_pet-mr](http://www.3.gehealthcare.com/en/products/categories/magnetic_resonance_imaging/signa_pet-mr)
8. P. Moskal: patent number: P 388 555 [WIPO ST 10/C PL388555] (2009), PCT/PL2010/00062 (2010), WO2011008119, US2012112079, PL388555, JP2012533734, EP2454612.
9. P. Moskal et. al: *Nuclear Medicine Review*, 15, 2012, A61-A63.
10. P. Moskal: *Nucl. Instr. and Meth. A*, 764, 2014, 317-321.
11. P. Moskal et al., *Nuclear Medicine Review*, 15, 2012, C81.
12. M. Patka et al.: *Bio-Algorithms and Med-Systems*, 10(1), 2014, 41-45.
13. P. Moskal: *A hybrid TOF-PET/MRI tomograph*, zgłoszenie patentowe: P 405184, PCT/EP2014/068373.
14. B. Głowacz, P. Moskal, M. Zieliński: *Wkład tomograficzny TOF-PET*, zgłoszenie patentowe: P 413150.